



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA HŘÍDELE

PRODUCTION OF SHAFT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Jančík

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2021

# Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Petr Jančík**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Výroba hřídele

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby hřídele určeného pro přenos krouticího momentu u převodovky. Součástí je rotačního tvaru a bude zhotovena technologií objemovým tvářením za studena. Na tuto problematiku bude zaměřena literární studie.

### Cíle bakalářské práce:

Provést srovnání možných způsobů výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti.  
Vypracovat aktuální literární studii zvolené technologie.  
Zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty.  
Navrhnout a popsat tvářecí nástroj.  
Zhotovit výkres nástroje s vyhotovením výkresů vybraných dílů.

### Seznam doporučené literatury:

BABOR, Karel, Augustin CVILINEK a Jan FIALA. Objemové tvářením ocelí. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1967, 332 s.

BRALLA, James G. Design for manufacturability handbook [online]. second edition. New York: McGraw - Hill, 1999 [cit. 2014-03-15]. ISBN 00-700-7139-X. Dostupné z:  
<http://www.scribd.com/doc/152678815/cold-headed-parts-pdf>

FELDMANN, Heinz D. Protlačování oceli. 1. vyd. Vladimír Hašek. Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1962, 200 s.

DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM. 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

JANČÍK Petr: Výroba hřídele

---

Bakalářská práce spadá pod obor Strojírenská technologie a navrhuje postup výroby hřídele z oceli 12 050 kombinovaným protlačováním. Předmětnou součást lze využívat například pro části těžících strojů, větší ozubená kola, čepy nebo šrouby. Dle získaných poznatků k problematice objemového tváření byla výroba součásti navržena na dvě tvářecí operace. Jako polotovar byl zvolen špalík o průměru 55 mm a délce 146 mm. Výroba byla navržena na postupovém automatu značky Schuler o jmenovité síle 2 000 tun a výšce 7 metrů, který je součástí společnosti Metaldyne Oslavany, v sérii 100 000 kusů za rok.

Klíčová slova: ocel 12 050, objemové tváření, protlačování, hřídel, přechování

## **ABSTRACT**

JANČÍK Petr: Production of shaft

---

The bachelor's thesis is classified under the field of Engineering Technology and proposes a process for the production of a shaft made of steel 12 050 by combined extrusion. The material in question can be used, for example, for parts of mining machines, larger gears, pins or screws. In accordance with the acquired findings on the issue of volume forming, the production of the component was designed for two forming operations. A block with a diameter of 55 mm and a length of 146 mm was chosen as a semi-finished product. The production was designed on a Schuler automatic machine, which is a part of the company Metaldyne Oslavany, with a nominal force of 2 000 tons and a height of 7 meters in a series of 100 000 pieces per year.

Keywords: steel 12 050, volume forming, extrusion, shaft, heading

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JANČÍK, Petr. *Výroba hřídele* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132768>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 21. 5. 2021

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě chci poděkovat Ing. Michaela Císařové, Ph.D., vedoucí mé bakalářské práce, za odborné vedení při zpracování této práce a také za její čas a cenné připomínky, které mi za tímto účelem věnovala. Dále chci poděkovat manželce Míši a celé rodině za podporu po celou dobu studia. V neposlední řadě děkuji společnosti Metaldyne Oslavany.

# OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	

<b>ÚVOD</b>	9
<b>1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI</b>	10
1.1 VOLBA TECHNOLOGIE VÝROBY	11
<b>2 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ MATERIÁLU ZA STUDENA</b>	13
2.1 ROZDĚLENÍ TVÁŘECÍCH PROCESŮ PODLE TEPLoty	13
2.2 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ PODLE SMĚRU PŘEMISŤOVÁNÍ MATERIÁLU	14
2.3 NÁSTROJE PRO PROTlačOVÁNÍ	17
2.3.1 Tvářecí nástroje pro dopředné protlačování	18
2.3.2 Tvářecí nástroje pro zpětné protlačování	20
2.4 DRUHY POLOTOVARU PRO TVÁŘENÍ	22
2.5 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY NÁSTROJŮ A DRUHY STROJŮ	22
2.5.1 Stroje pro protlačování za studena	23
2.6 DEFORMAČNÍ ODPORY A DRUHY MAZÁNÍ PŘI TVÁŘENÍ	24
2.7 TVÁŘECÍ SÍLA	26
2.8 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTÍ	27
<b>3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI</b>	29
3.1 NÁVRH VÝROBY	30
3.2 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	31
3.2.1 Výpočet deformací při protlačování	33
3.2.2 Výpočet protlačovací síly pro 1. operaci	35
3.2.3 Výpočet protlačovací síly pro 2. operaci	35
3.3 VOLBA TVÁŘECÍHO STROJE	37
3.4 KONTROLA NÁSTROJŮ	37
<b>4 ZÁVĚRY</b>	38

Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých zkratk a symbolů	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam výkresů	
Seznam příloh	



## ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

V současné době, tj. ve 21. století, lze součástky vyrábět mnoha technologiemi, mezi které patří např. obrábění, odlévání, vstřikování, kování a v neposlední řadě tvářením.

Tvářením se rozumí proces, kdy za působení vnějších sil dochází ke změně tvaru polotovaru. Výroba součástí tvářením se v dnešní době považuje za nezastupitelnou technologii. Tato technologie se uplatňuje zejména v hromadné a sériové výrobě. Na obrázku 1 lze vidět některé vyráběné součásti. Cílem dané technologie je zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností a dosažení požadovaného tvaru – vzhledu a přesnosti jeho rozměrů.

Tváření se rozděluje do dvou hlavních skupin podle působení vnějších sil, a to plošné a objemové. U objemového tvářením nastává deformace ve směru všech tří os souřadného systému a zahrnuje např. válcování, kování, protlačování, tažení drátů. U tvářením plošného převažují deformace ve dvou směrech a zahrnuje např. tažení, ohýbání a stříhání.

Dále lze tvářením rozdělit podle teploty, a to na tvářením za studena, za tepla a za poloohřevu, což představuje kompromis mezi procesy tvářením za tepla a za studena. Když se změni teplota materiálu, mění se deformační odpor proti tvářením, a zároveň se zlepšují plastické vlastnosti.

Historie tvářením sahá až do starší doby bronzové. Avšak největšího vývoje a rozmachu dosáhlo ve 20. století.



Obrázek 1 Příklad vyráběných součástí objemovým tvářením [2], [4], [5]

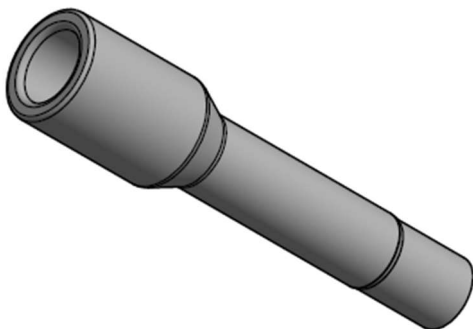
## 1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI [6], [7], [8]

Zadanou součást představuje hřídel, která slouží jako vstupní hřídel pro automatickou převodovou skříň k přenosu krouticího momentu v osobních automobilech (obrázek 2). Hřídel bude vyráběna v sériovosti 100 000 kusů za rok. Na obrázku 4 lze vidět její 3D model.

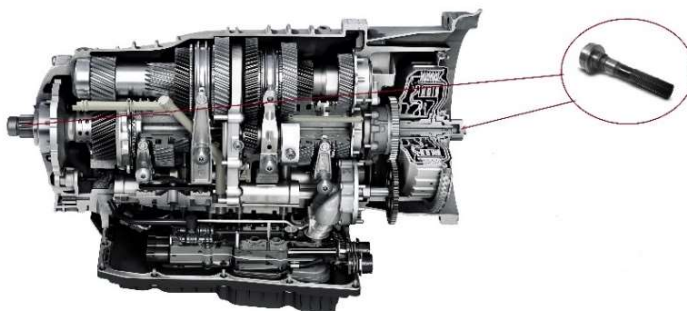
Součásti obdobných tvarů vyrábí společnost Metaldyne Oslavany spol. s r.o. (dále jen „Metaldyne“).

Metaldyne patří k mezinárodní holdingové společnosti American Axle & Manufacturing, Inc., která se v dnešní době řadí mezi špičkové dodavatele velmi kvalitních technických komponentů, modulů a systému do motorů, mezi které patří např. převodovky a řídicí systémy, řídicí tyče, lisované hřídele, vodící tyče. Společnost Metaldyne působí na území České republiky přes 25 let a zabývá se především objemovým tvářením za studena. Vyrábí převážně součásti do osobních a nákladních automobilů. Kvalitu výrobků potvrzuje i skutečnost, že dodávané díly jsou součástí automobilů značek Porsche, BMW, Volkswagen. V objektu Metaldyne se také nachází tepelné úpravy materiálu, lisovna a metalografická laboratoř.

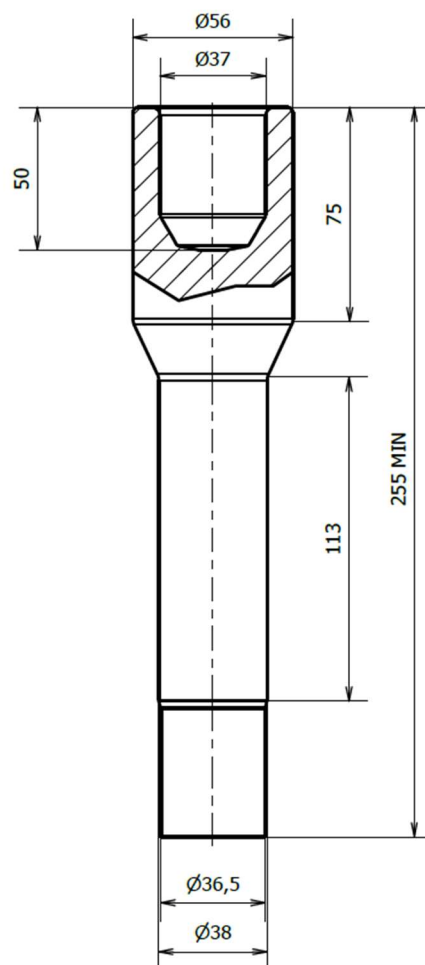
Aktuálně se zde zadaná hřídel nevyrábí, nicméně Metaldyne požaduje zavedení do výroby na co nejmenší počet výrobních operací. Návrh předpokládá, že z válcovaného materiálu kruhového průřezu se na pásové pile připraví špalíky. Během dvou protlačovacích operací bude hřídel zhotovena. Obrázek 3 zobrazuje náčrt součásti se základními rozměry s volnými mírami, kde největší průměr hřídele činí  $\varnothing 56$ , přičemž musí být zaručena minimální celková délka 255 mm kvůli přídavku pro další operace. Hřídel bude zhotovena z konstrukční uhlíkové oceli 1.1191, kterou je možné zušlechtit a povrchově zakalit. Podle českých technických norem (dále jen „ČSN“) se používá označení oceli 12 050. Materiál se volí pro svou dobrou tváritelnost, avšak musí se dbát na podmínku použití velkých tlaků a přesných nástrojů.



Obrázek 4 Vyráběná součást



Obrázek 2 Ukázka součásti v převodové skříni [8]



Obrázek 3  
Základní rozměry součásti

## 1.1 Volba technologie výroby [1], [3], [7], [9], [10], [11]

Podle zadaných rozměrů, tolerancí a počtu kusů je nutné zvolit nejvhodnější technologii. Součást lze vyrobit jednou technologií nebo složením dvou technologií. Odlévání a kování jsou pro zadaný tvar a rozměry nevhodné, proto nebyly zařazeny do možných návrhů výroby.

Vhodnými jsou následující technologie:

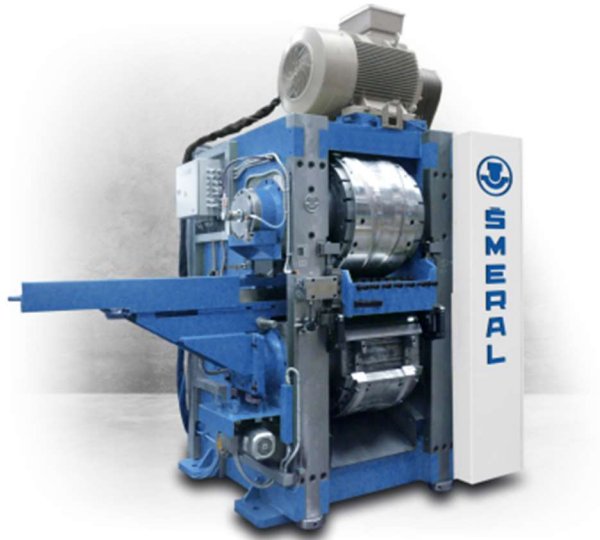
- Obrábění – součást lze vyrobit soustružením za pomoci počítačem řízeného obráběcího stroje (dále jen „CNC“). Jedná se o třískové obrábění materiálu, kdy rotační hlavní pohyb vykonává obrobek. Vedlejší pohyb vykonává soustružnický nůž, což můžeme vidět na obrázku 5. Polotovarem může být např. válcovaná tyč, výkovek, odlitek.

Součást lze vyrobit s velmi dobrou přesností za cenu delšího strojního času a zvýšení nákladů na výrobu. Mezi nevýhody patří skutečnost, že třískovým obráběním vzniká velké procento odpadu a nedochází ke zpevnění materiálu, jako je tomu u tváření. Kvůli emulzi (voda a olej), kterou se zpravidla chladí a maže obrobek s nožem, může docházet ke korozi materiálu.



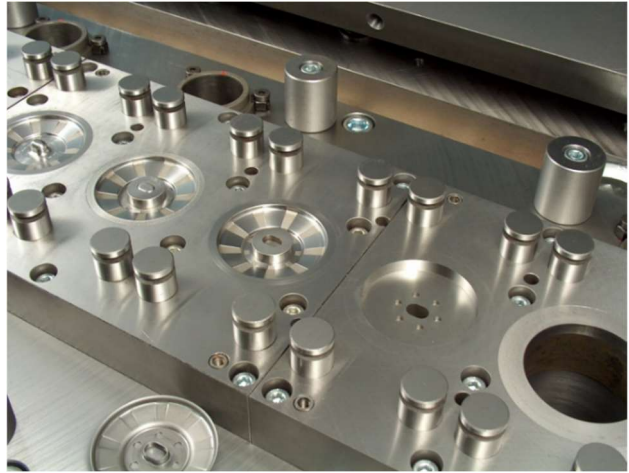
Obrázek 5 Soustružení [7]

- Příčné klínové válcování (dále jen „PKV“) a obrábění – princip PKV spočívá ve vyrobení vývalku nebo předkovek, ale lze vyrábět i rotační polotovary v konečné kvalitě. Polotovary lze indukčně zahřát a přemístit do tvářecího stroje. Dále pak bude polovar přemístěn k obrábění a vytvoření potřebného otvoru. Omezující skutečností je u této metody průměr vývalku, který činí pouze 40 mm. Rychlost výroby činí 10 až 20 kusů za minutu. V České republice typ stroje dodává například společnost Šmeral Brno a.s. (obrázek 6).



Obrázek 6 Stroj pro PKV ULS 70 [10]

- Tváření za studena – princip spočívá ve změně tvaru polotovaru, kterou dochází ke zpevnění materiálu. Přetvořený materiál má vyšší mez kluzu a pevnost. Mezi hlavní výhody patří velká úspora výrobního materiálu, snížení výrobních časů a potřebné energie a v neposlední řadě také zlepšení kvality výrobků. Největších ekonomických efektů se dosahuje ve velkosériové nebo hromadné výrobě. Na obrázku 7 lze vidět nástroj – forma pro víceoperační tváření. Protlaček má nepřerušovaný průběh vláken, čímž se zvýší mez únavy. Výrobní časy jsou v řádu vteřin. Touto technologií lze vyrábět součástky, které jinými technologiemi vyrobit nelze.



Obrázek 7 Forma pro víceoperační tváření [11]

U objemového tváření za studena se mění tvar (tloušťka) polotovarů většinou za pokojové teploty. Zpravidla se jedná o kombinace různých základních způsobů tváření. Při použití dané technologie se zlepšují např. mechanické vlastnosti.

Vzhledem k požadované sériovosti kusů a přesnosti součástí, se z nabízených možností výroby jeví jako nejvhodnější způsob výroby technologie tváření za studena, na kterou bude dále zaměřena teoretická i praktická část bakalářské práce. Jelikož se jedná o symetrický tvar, nebude třeba použití speciálních tvářecích technologií, ale použije se dopředné protlačení dřívku a částečné zpětné protlačení hlavy, která obsahuje otvor.



## 2 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ MATERIÁLU ZA STUDENA [1], [12], [13]

Objemové tváření materiálu za studena lze popsat jako moderní, vysokoproduktivní a hospodárnou výrobu strojních součástí s velmi dobrou jakostí povrchu výrobků. Tvářením lze nahradit obrábění součástek, např. šroubů, čepů, matic. Zpevněný kvalitní povrch a usměrněná nepřerušovaná vlákna součástí zvyšují únavovou pevnost materiálu. Do technologie objemového tváření patří zejména:

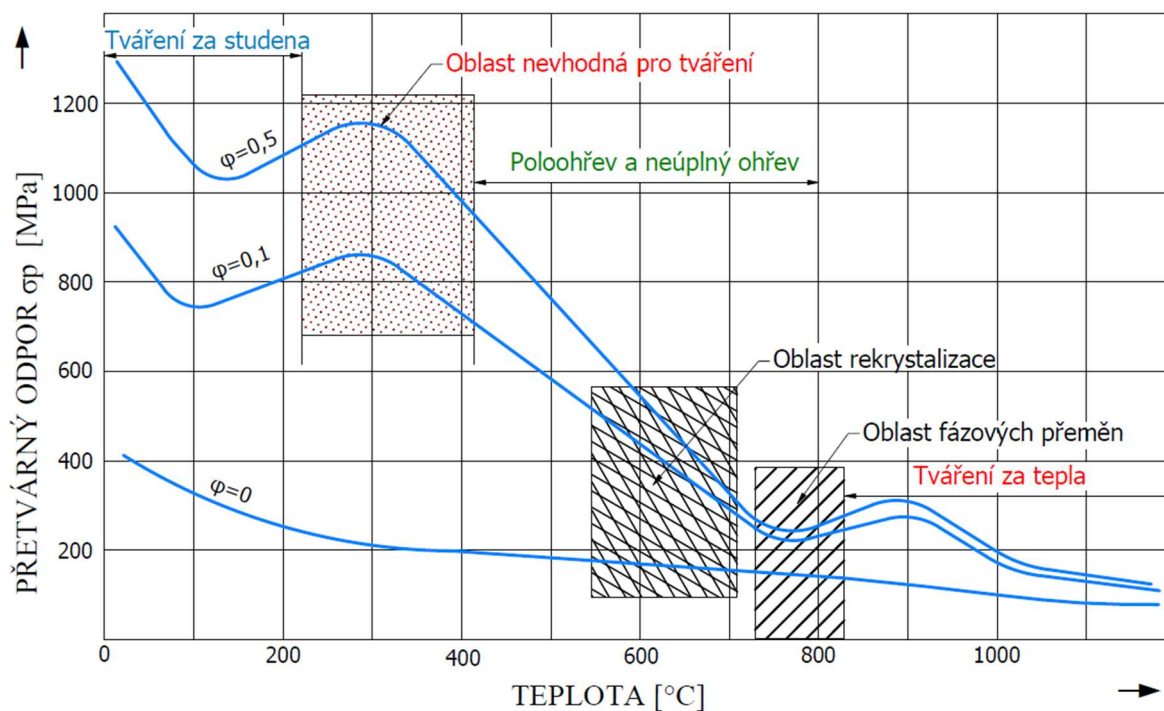
- protlačování,
- válcování,
- pěchování,
- redukování,
- vtlačování,
- doplňkové metody tváření povrchu.

### 2.1 Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [3], [9]

Pokud se teplota materiálu (oceli) změní, změní se také deformační odpor tváření. Zvyšující se teplota zároveň zlepšuje plastické vlastnosti. Rozdělení tvářecích procesů podle teploty znamená rozdělení podle vztahu teploty tvářeného materiálu k teplotě rekrytalizace (přibližně 0,4 teploty tání kovu, viz obrázek 8). Při rekrytalizační teplotě dochází k regeneraci deformovaných zrn vzniklých tvářením za studena beze změny krystalové mřížky.

Rozdělení tvářecích technologií podle teploty:

- za studena,
- za tepla,
- za poloohřevu.

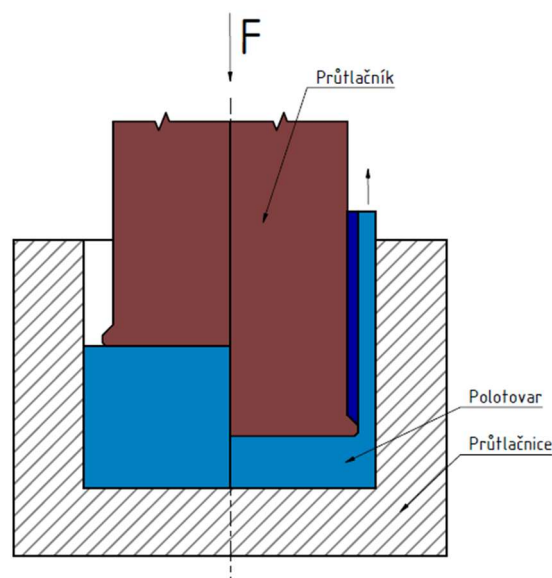


Obrázek 8 Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [3]

## 2.2 Technologie tváření podle směru přemísťování materiálu [1], [9]

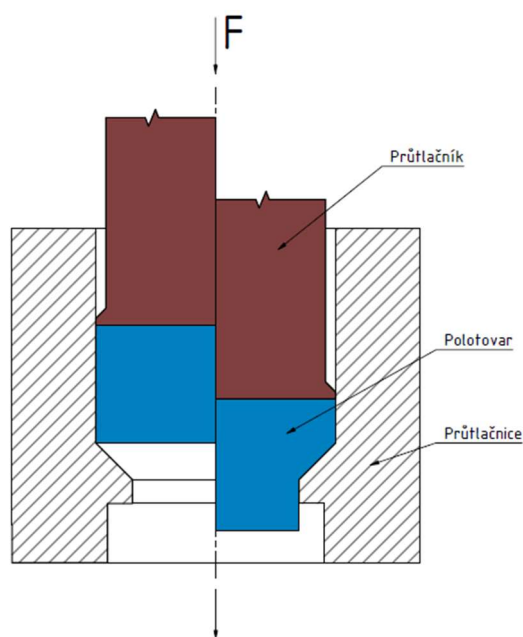
Při tváření za studena se mění tvar polotovarů, zpravidla jde o kombinaci více základních způsobů tváření, např. protlačování, pěchování. Tváření za studena probíhá za působení prostorové napjatosti, která vytváří ideální podmínky pro velké plastické deformace, aniž by se porušila soudržnost tvářeného materiálu. Podle směru a způsobu přemísťování materiálu v tvářecím nástroji se tyto technologie tváření rozdělují na:

- Zpětné (protisměrné) protlačování – materiál je přemísťován proti směru pohybu průtlačnice, což lze vidět na obrázku 9. Polotovarem bývá zpravidla špalík, jehož výška je větší jak polovina jeho průměru. Dané výrobky mají většinou kruhový průřez, ale lze také vyrábět součástky pravidelného i nepravidelného tvaru. Tímto způsobem lze získat hotový výrobek nebo polotovaz pro další operace tváření, např. dokončení obráběním.



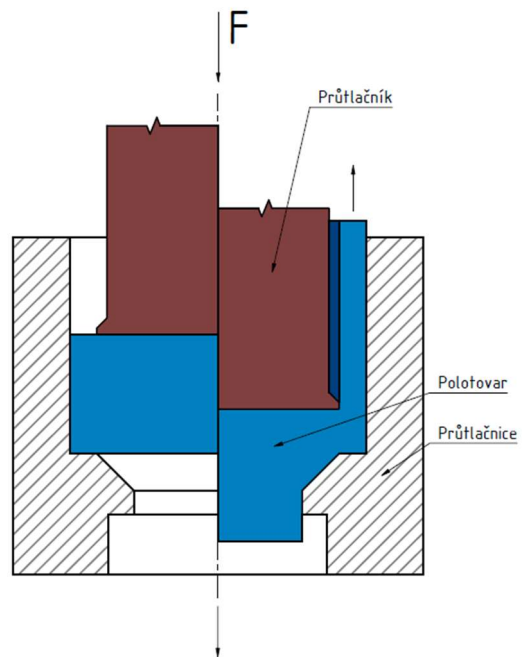
Obrázek 9 Zpětné protlačování [1]

- Dopředné protlačování – materiál postupuje ve směru pohybu průtlačníku, tento princip lze vidět na obrázku 10. Výlisky mohou být dutá, nebo plná tělesa kruhového průřezu. Lze vyrábět i jiné výlisky s pravidelnými tvary. Vhodným polotovarem může být špalík, prstenec z tlustostěnné bezešvé trubky nebo děrovaný polotovaz kruhového průřezu (kalota). Dopředným protlačováním se zpravidla vyrábí součásti čepového tvaru, např. šrouby, nýty, hřídele.



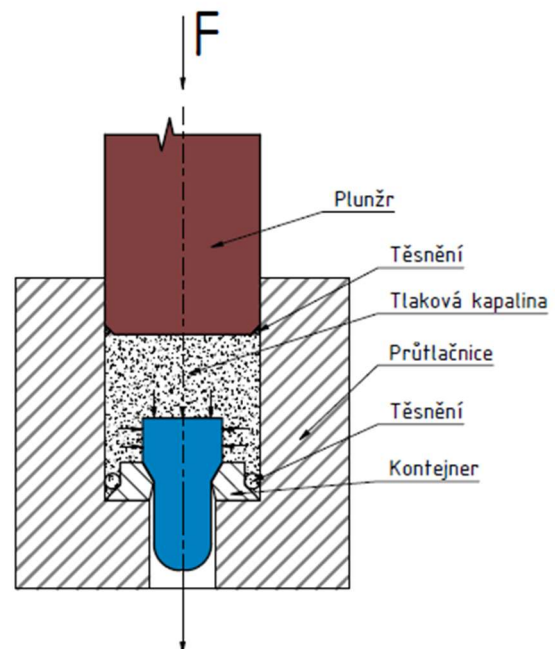
Obrázek 10 Dopředné protlačování: [1]

- Sdružené (obousměrné, kombinované) protlačování – v zásadě se jedná o kombinaci zpětného a dopředného protlačování. Materiál se pohybuje ve směru i proti směru pohybu průtlačníků. K výrobě kvalitního výrobku musí být u spodní části výlisku zvolený stupeň přetvoření menší než v horní části. Tento způsob protlačování je vhodné využívat u méně složitých součástí, kde nastává kombinace kalíškování a protlačování plné části (obrázek 11), nebo kde nastane situace, že potřebná hloubka dutiny v jedné části výlisku je menší než ve druhé alespoň o 30 %. Z ekonomického hlediska se nabízí jako lepší volit dvě tvářecí operace nebo použít speciální stroje, kde se pohybují oba průtlačníky proti sobě.



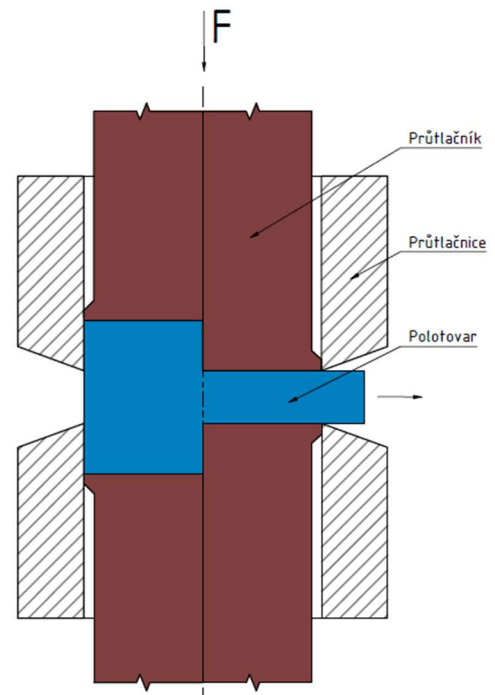
Obrázek 11 Sdružené protlačování: [1]

- Hydrostatické protlačování – má velkou řadu výhod, které byly v minulosti potvrzeny mnoha zkouškami. Na polotovaz se přenáší protlačovací síla tlakovou kapalinou. Díky tomu, že výchozí polotovaz obklopuje kapalina, vychází zde tření mezi ním a stěnou zápusťky ve velmi malých hodnotách. Malá část kapaliny proniká do pásma vlastního protlačování, čímž ve velkém množství zmenšuje tření. Protlačovací zápusťka je obklopena a vyztužena tlakovou kapalinou, což je nezanedbatelnou výhodou této technologie, neboť tímto umožňuje vyrobít slabší stěny. Z provedených zkoušek v minulosti bylo zjištěno, že se protlačovací síla u oceli průměrně zmenší o 4 %, u hliníku o 20 % a u mědi o 8 % (obrázek 12).



Obrázek 12 Hydrostatické protlačování: [1]

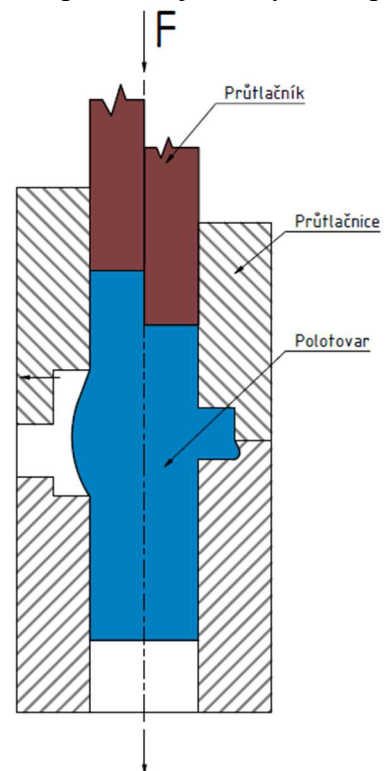
- Stranové protlačování – liší se směrem přemísťování materiálu. Hlavní deformace nastává ve směru kolmém k podélné ose polotovaru (radiálním). Tento způsob lze využít například ke změně průřezu jen v určité části výlisku, např. při tváření různých výstupků pravidelného nebo nepravidelného tvaru (obrázek 13).



Obrázek 13 Stranové protlačování [1]

- Pěchování – je tvářecí operace, kde záleží na stlačování polotovaru a získání větších průřezů více či méně složitých tvarů. Tento způsob se doposud nejvíce využívá při výrobě normalizovaných součástí, např. šroubů a nýtů. U složitější výroby pěchování se lze setkat s:

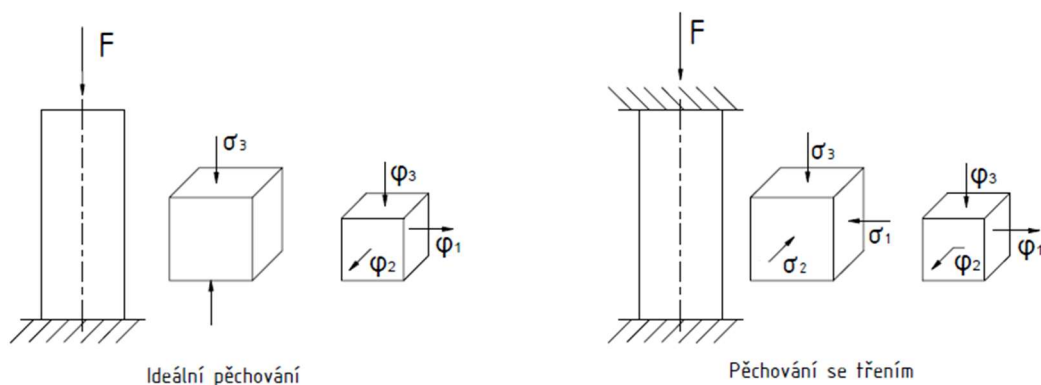
- I. kalibrací výchozího špalíku za účelem zarovnání čel deformovaných při stříhu,
- II. přípravnou tvářecí operací, při které se přizpůsobuje rozměr i tvar výchozího polotovaru pro další tvářecí operace,
- III. více operačním tvářením v samostatné nebo sloučené (kombinované) tvářecí operaci (obrázek 14).



Obrázek 14 Pěchování [1]



Jako ukázkový případ slouží stav deformace, u kterého má přetvoření stejnou hodnotu ve všech částech tělesa. V praxi je však tento případ neproveditelný, protože se zde počítá s nulovým třením. Tento stav je popsán jednoosým napětím a prostorovým průběhem deformace. Ideální pěchování je zobrazeno na obrázku 15. V praxi pak nastává druhý případ, a to pěchování se třením, kde nastává víceosé napětí a prostorová deformace.



Obrázek 15 Druhy pěchování [9]

- Radiální tváření – není zatím tolik používané. Princip technologie spočívá v tom, že profil tvarovaného nebo ozubeného předmětu se tváří v zaváděném výchozím polotovaru současně dostředně se pohybujícími tvarovými čelistmi. Dané čelisti jsou vedeny a jsou negativem tvaru tvářeného předmětu. Tohoto způsobu se používá ke změně průřezu určité části výlisku obdobně jako u stranového protlačování, avšak s tím rozdílem, že zde se mění tvar průřezu polotovaru a ne jeho velikost.

### 2.3 Nástroje pro protlačování [9], [14]

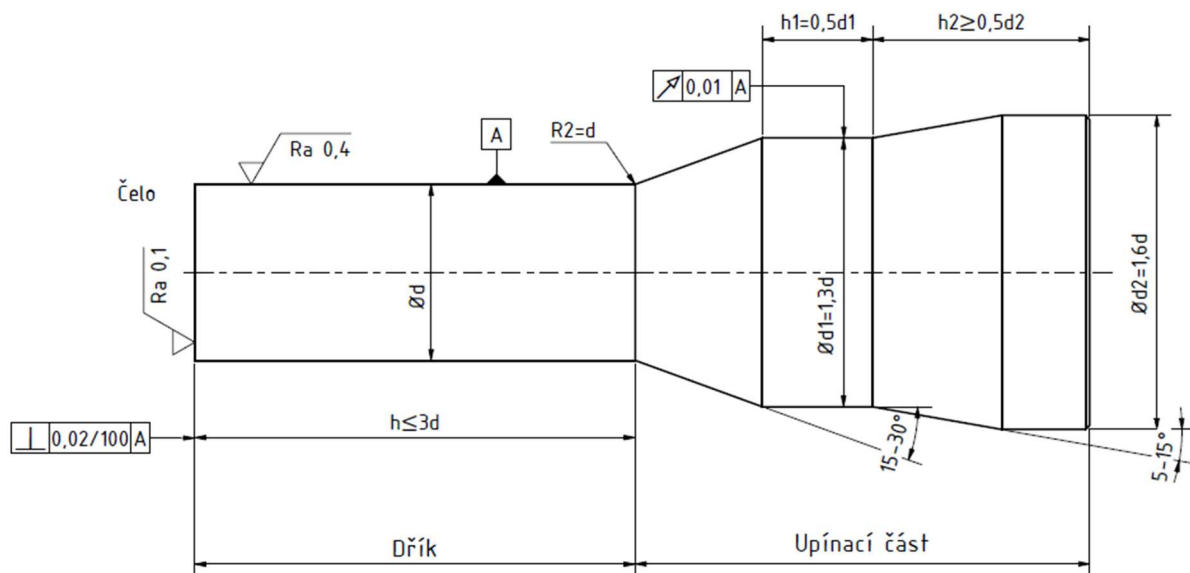
Na protlačovací nástroje jsou kladeny velké nároky, protože mají značný vliv na celkovou hospodárnost výroby a cenu samotného nástroje. Životnost nástroje značně ovlivňuje volba materiálu a konstrukcí. Nástroje mohou být zatěžované ohybovým nebo tlakovým napětím. Pokud je konstrukční délka příliš velká, může nastat i ohybové napětí. Vlivem častého ohřívání a ochlazování je nástroj také tepelně namáhán. Při konstruování protlačovacího nástroje se musí přihlídnout na požadavky na nástroj, mezi které patří:

- celý nástroj musí být dostatečně tuhý,
- musí být zabezpečeno jednoduché vyhození protlačku z nástroje,
- perfektní vedení funkčních částí,
- rychlá a snadná výměna nástrojů,
- splnění podmínky maximální životnosti a hospodárnosti nástroje,
- perfektní chlazení a mazání nástroje,
- splnění podmínky bezpečnosti práce,
- v co největší míře zabránění poškození protlačku.

### 2.3.1 Tvářecí nástroje pro dopředné protlačování [9], [14]

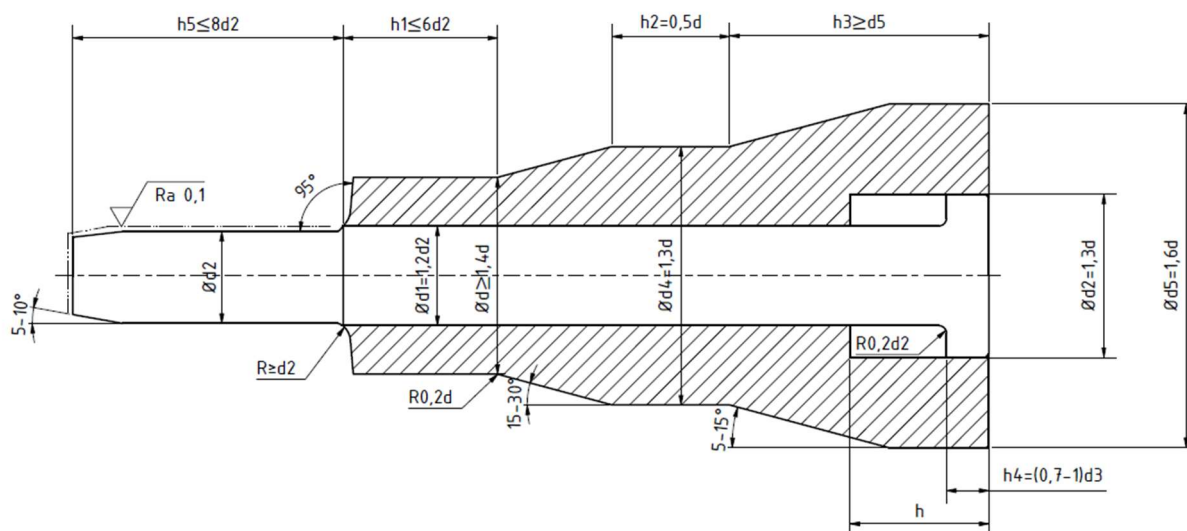
Pro tváření materiálu existují základní typy dopředných nástrojů:

- Průtlačník do plného materiálu – nástroje jsou zpravidla z jednoho kusu společně s upínací částí, která může mít kuželovou nebo válcovou hlavu. Přejít mezi dříkem a upínací částí musí být mírný pro zmenšení soustředěného napětí. Doporučenou konstrukci lze vidět na obrázku 16. Při výrobě nástroje musí být dodrženy přísné geometrické tolerance a konečné opracování – lapování.



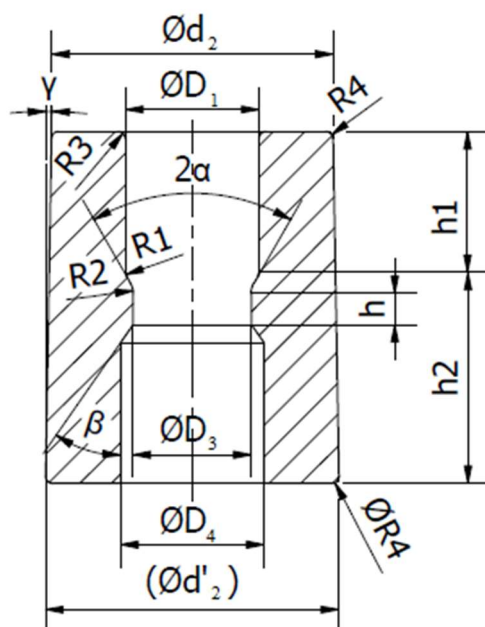
Obrázek 16 Nástroj pro protlačování plného materiálu [9]

- Průtlačník do dutého materiálu – doporučené rozměry a tvar průtlačníku lze vidět na obrázku 17. Průtlačník zhotovený z jednoho kusu má jednu výraznou nevýhodu, kterou je kritické místo v místě přechodu z malého průměru na větší, kde se nadměrně koncentruje napětí. Vhodnější konstrukcí může být dělený průtlačník s upínacím pouzdrem.



Obrázek 17 Doporučený tvar a rozměry průtlačníku pro dopředné protlačování [9]

- Průtlačnice – významným geometrickým parametrem u průtlačnice pro dopředné protlačování je tvar redukční. Nejjednodušším tvarem na výrobu je pak redukční kužel. Redukční úhel významně působí na velikost deformačního odporu. Ověřený tvar průtlačnice lze vidět na obrázku 18 a doporučené konstrukční údaje podle teploty v tabulce 1. Průměr  $D_4$  slouží jako odlehčení. Příčným rozdělením průtlačnice v oblasti, kde přechází z válcové na kuželovou část, lze snížit vrubový účinek. Obě části průtlačnice musí vykazovat těsný styk, čímž je zamezeno zabíhání materiálu do dělicí roviny.



Obrázek 18 Průtlačnice pro dopředné plné protlačování [9]

Tabulka 1 Doporučené rozměry průtlačnic podle teplot [9]

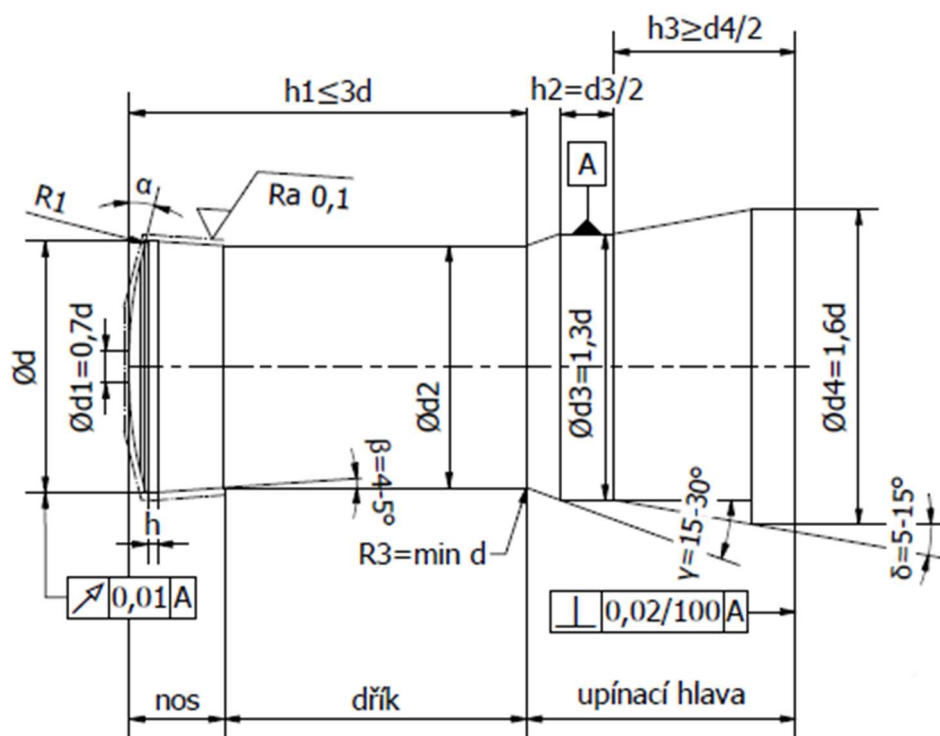
Teplota tváření	20 °C	200 – 400 °C	400 – 700 °C	700 °C a více
$D_4$	$D_3 + (0,1 - 0,2)$	$D_3 + (0,2 - 0,4)$	$D_3 + (0,4 - 0,6)$	$D_3 + (0,4 - 0,8)$
$h$	$0,5\sqrt{D_3}$	2 až 3 mm	3 až 5 mm	5 až 20 mm
$2\alpha$	30° až 90°	60° až 120°	90° až 120°	90° až 150°
$R_1$	$(D_1 - D_3) / 2$			
$R_2$	(0,05 až 0,1)	1 až 2 mm	2 až 4 mm	3 až 10 mm
$R_3$	asi $0,15 \cdot D_1$			
$H_2$	min. $0,7 \cdot D_1$			
$\gamma$	1° až 2°			
$\beta$	5° až 10°			

### 2.3.2 Tvářecí nástroje pro zpětné protlačování [9], [14]

Mezi základní nástroje pro zpětné protlačování patří například:

- Průtlačník

Velmi důležitými jsou pro průtláčník tvar a povrch čela, na kterém závisí průběh a velikost protlačovací síly. Praxí byl nejvíce ověřen tvar průtláčníku, který lze vidět na obrázku 19. Samotné čelo tvoří mírně kuželovitý tvar a úhel  $\alpha$  se zde určuje s ohledem na daný tvar průtláčníku. Dále se také bere ohled na tvářecí teplotu (tabulka 2).



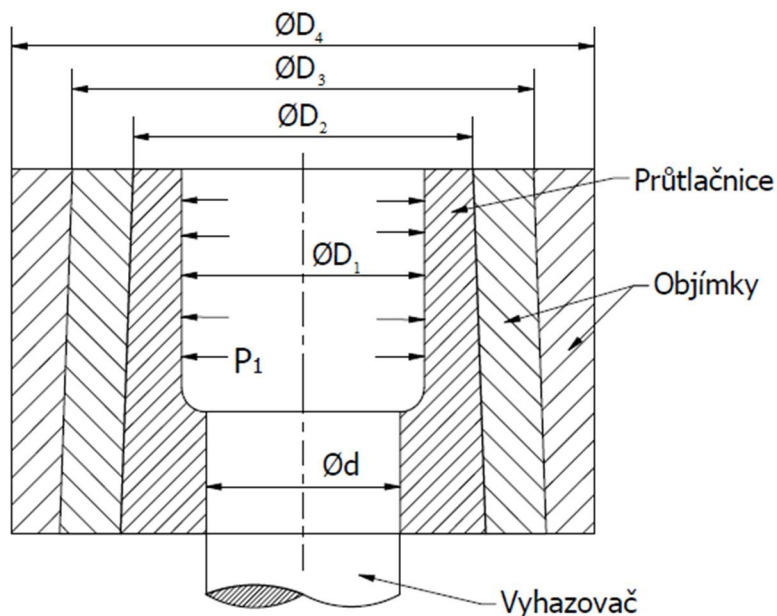
Obrázek 19 Doporučený tvar s rozměry průtláčnicku pro zpětné protlačování [9]

Tabulka 2 Doporučené geometrické parametry průtláčnicku [9]

	Teplota zpětného protlačování			
	20 °C	200 – 400 °C	400 – 700 °C	700 °C a více
ø d	d - (0,1 až 0,2)	d - (0,2 až 0,5)	d - (0,3 až 0,6)	d - (0,4 až 1,0)
h	0,5√d	2 až 3 mm	3 až 5 mm	5 až 20 mm
α	5° až 8°	5° až 15°	5° až 15°	20°
R <sub>1</sub>	(0,05 až 0,1) · d	1 až 3 mm	1 až 4 mm	2 až 10 mm
d <sub>1</sub>	d - (2 · R <sub>1</sub> + 0,2 · d) = 0,7 · d			

- Průtlačnice

Otvor pracovní dutiny se vyrábí buď zaoblen, nebo s kuželovým náběhem, který slouží pro ulehčení vkládání polotovaru. Pracovní plochu dutiny průtlačnice určuje tvar protlačovaného polotovaru. Díky zaoblení  $R_1$  se snižuje koncentrace radiálního napětí. Pracovní plocha je broušená a lapovaná. Průtlačnice se používají buď s objímkami, nebo bez. Objímky mají za cíl zvýšit radiální předpětí. Průtlačnice bez objímky se použijí, pokud jsou radiální tlaky do 1000 MPa. Příkladné tvary průtlačnic a použití objímek lze vidět na obrázku 20 a v tabulce 3.



Obrázek 20 Typický tvar pro průtlačnici a její pouzření objímkami [9]

Tabulka 3 Geometrické parametry průtlačnic [9]

		Průtlačnice	
		s jednou objímkou	se dvěma objímkami
Radiální tlak [MPa]		1000 – 1600	1600 – 2000
Poměrné průměry		$D_2/D_1 = 2$ až $2,2$	$D_2/D_1 = 1,6$ až $1,8$
		$D_3/D_2 = 2$ až $2,3$	$D_3/D_1 = 2,2$ až $3,2$
		$D_3/D_1 = 4$ až $5,5$	$D_4/D_1 = 4$ až $6$
Stykový průměr		$D_2 = \sqrt{D_3 \cdot D_1}$	-
Přesah [MPa]	$D_2$	$(0,0055 \text{ až } 0,0075) \cdot D_2$	$(0,004 \text{ až } 0,005) \cdot D_2$
	$D_3$		$(0,003 \text{ až } 0,004) \cdot D_3$

## 2.4 Druhy polotovaru pro tváření [1], [15], [16]

Vhodné polotovary pro objemové tváření jsou:

- Ingoty – odlévají se v rozmezí 0,5 – 300 tun, viz obrázek 21. Do 10 – 15 tun se ingoty zpracovávají ve strojírenských firmách převážně volným kováním, těžší se naopak zpracovávají přímo v hutích.



Obrázek 21 Ingot [15]

- Vývalky – konečné hutnické výrobky z těžkých ingotů, které jsou zpracovávány válcováním za tepla. Vývalky, které jsou tepelně zpracovány, se používají pro tváření za studena.

## 2.5 Používané materiály nástrojů a druhy strojů [1]

U objemového tváření se dbá na to, aby nástroje měly vysokou pevnost, tvrdost, jakost povrchu a odolnost proti opotřebovávání. Zvolit správnou ocel pro nástroje bývá velmi obtížné z důvodu, že možností volby materiálu k protlačování je velmi mnoho a ke každému tvářenému materiálu je vhodný jiný materiál pro nástroje. Nejvíce namáhané části nástrojů jsou průtláčnick s průtláčnicí. Míra námahy záleží na druhu materiálu, který se tváří. Základní druhy materiálu pro nástroje lze vidět v tabulce 4.

Ke zlepšení životnosti materiálu lze přidat přísady, např. molybden (ve výši až 5 %). Pro dosažení velkých výkonů se přidává jako přísada kobalt (ve výši až 5 %). Hlavní kritérium je, aby materiál měl vysokou jakost, tj. malý obsah fosforu a síry. Materiál lze také naočkovat legujícími prvky, které zlepšují vlastnosti materiálu, např. chrom, nikl, molybden, vanad.

U výroby nástrojů představuje velmi důležitou část tepelné zpracování. Materiál se musí vyžehat a kalit. Kalením se získá struktura s velkou tvrdostí. Po kalení má materiál velkou tvrdost a také vnitřní napětí, což je v tomto případě nežádoucí. Pro zvětšení houževnatosti a odstranění napětí musí být materiál popuštěn.

Hlavní kritéria pro výběr správné nástrojové oceli jsou:

- použitá technologie tváření,
- druh tvářeného materiálu,
- tvar a velikost výrobku,
- velikost deformace,
- sériovost.

Tabulka 4 Základní druhy oceli používané pro nástroje [1]

Použití	Značka ČSN	Chemické složení v %						
		C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W
Průtlačníky	19 436	1,95	0,50	0,50	12,00	-	0,15	-
	19 437	1,90	0,30	0,30	12,00	-	0,21	0,75
	19 800	0,80	0,50	0,50	4,00	-	1,85	8,75
	19 810	1,25	0,50	0,50	4,40	-	4,00	11,00
	19 824	0,70	0,20	0,25	4,15	-	1,30	17,50
	19 820	0,80	0,20	0,25	4,15	-	1,35	17,50
	19 733	0,56	0,22	1,02	1,10	-	-	1,90
	19 423	0,85	0,40	0,35	0,70	-	0,12	-
Průtlačnice	19 721	0,30	0,35	0,32	2,35	-	0,20	9,25
	19 733	0,56	0,22	1,02	1,10	-	-	1,90
	19 614	0,55	0,45	0,45	0,75	2,55	0,60	-
	19 436	1,95	0,50	0,50	12,00	-	0,15	-
	19 437	1,90	0,30	0,30	12,00	-	0,21	0,75
	19 824	0,70	0,20	0,25	4,15	-	1,30	17,50
	19 826	0,80	0,20	0,25	4,15	-	1,30	17,50
	19 810	1,27	0,50	0,50	4,40	-	4,00	11,00
	19 191	1,25	0,27	0,30	-	-	-	-
Vyhazovače	19 423	0,85	0,40	0,35	0,70	-	0,12	-
	19 420	1,35	0,35	0,35	0,65	-	-	-
	19 710	0,23	1,40	0,50	0,30	-	-	-

### 2.5.1 Stroje pro protlačování za studena [1], [12], [17]

V dnešní době se používají lisy různých konstrukcí nebo speciální protlačovací stroje. Stroje, které slouží k protlačování, se dělí na:

- mechanické lisy,
- hydraulické lisy,
- speciální stroje.

Ke správnému a efektivnímu výběru stroje slouží pracovní diagram a dále výpočty potřebné pracovní síly a práce. Lisy, které se používají k protlačování, se rozdělují na tyto druhy:

#### Mechanické lisy

Hlavní výhoda mechanických lisů spočívá v protlačování velkých výlisků, kde je zapotřebí značně velká síla. Dále bývá výhodou využití pro menší série, které by nebyly výhodné pro postupové lisy, a také pro výlisky, k jejichž výrobě je zapotřebí jedna až dvě tvářecí operace. Mezi nejvyhledávanější vlastnost mechanických lisů patří jejich tuhost, která má bezprostřední vliv na výslednou přesnost protlačků, účinnost tváření a celkovou životnost nástrojů i celého stroje.

*Klikové lisy* jsou díky svým docela vysokým zdvihům určeny pro protlačování, a to za podmínky dostatečné tuhosti, potřebného vedení beranu a dostatečné pracovní dráhy. Tyto lisy pohánějí elektromotor a zpravidla jsou konstruovány jako dvoustojanové.

*Kolenové lisy* jsou díky relativně malému zdvihu a malé tvářecí práci vhodné pro průtlačky, které vyžadují krátkou pracovní dráhu. I tyto lisy jsou poháněny elektromotorem. Potřebný kroučící moment se díky kolenovému ústrojí, které obsahuje setrvačnick a spojku s klikovým hřídelem, přenáší na beran, který vykoná pohyb. Rámovou konstrukcí stojanu lisu je ocelový odlitek.

*Výstředníkové lisy* nejsou příliš vhodné pro objemové tváření, protože nejsou dostatečně tuhé a jejich využití je hlavně v přípravných pracích, např. svinování prstenců určené k protlačování. Výstředníkové lisy nejsou vhodné pro efektivní tváření, zpravidla jsou pouze nouzovým řešením. Výstředníkem pohybuje beran lisu, který je uveden do pohybu elektromotorem pomocí spojky.

#### Hydraulické lisy

Pohyb beranu u hydraulických lisů určuje píst (plunžr). Píst může být hnaný kapalinou buď z baterie nebo přímo z čerpadla. Složení pracovní kapaliny může být jen voda nebo hydraulický olej. Mezi výhody patří rychlá přibližovací a zpětná rychlost (zkrácení neproduktivních časů) a také malá dosedací rychlost nástroje na materiál (prodloužení životnosti nástroje). Mezi nevýhody těchto lisů patří malý počet zdvihů a relativně malá pracovní rychlost. Tato rychlost činí pouze 1/10 průměrné pracovní rychlost dosahované na mechanických lisech.

#### Speciální stroje

Při objemovém tváření za studena se pracuje s vícetvářecími operacemi (pěchování, protlačování, prodlužování, tažení aj.), tudíž se jedná o víceoperační pracovní postup, na který jsou kladeny vysoké nároky na stroje a nástroje, pokud je třeba k tomuto ještě zakomponovat mezioperační operace jako žíhání, povrchové úpravy, mazání atd. Dnes se používá několik druhů speciálních strojů, které se využívají v tváření za studena. Těmito druhy jsou:

- a) horizontální nebo vertikální kolenové lisy s automatickým podáváním a odebíráním výrobků,
- b) postupové lisy,
- c) metoda Colforg a speciální stroje při ní využívané.

## **2.6 Deformační odpory a druhy mazání při tváření [1], [9], [12], [14]**

Deformační odpor technologický ( $\sigma_d$ ) je součet všech napětí v materiálu, která působí proti napětí vyvolané vnějšími silami, a deformační odpor skutečný ( $\sigma_p$ ) tvoří napětí, které je nutno zdolat při deformaci daného materiálu při specifických podmínkách technologického postupu tváření.

Odpor kovů potřebný ke změně tvaru (plastická deformace) patří mezi základní mechanické vlastnosti materiálu. Plastickou deformaci je však při tváření třeba zdolat, aby mohlo dojít k potřebné tvarové změně daného tvářeného tělesa. Tento odpor se nazývá deformační a vyjádřit ho lze jako velikost napětí vyvolanou vnějšími silami, které jsou nutné pro trvalou (nevratnou) deformaci. Každý materiál má při určitých podmínkách (teplota, rychlost aj.) přesně danou hodnotu. Samotný deformační odpor je závislý na mnoha faktorech. Faktory, které hlavně ovlivňují velikost deformačního odporu, jsou:

- rychlost deformace,
- teplota deformace,
- stav napjatosti,
- stupeň deformace,
- vliv vnějšího tření,
- chemické složení a fyzikální vlastnosti kovu.



- Pro zpětné protlačení lze deformační odpor vypočítat ze vzorce:

$$\sigma_d = 1,152 \cdot \sigma_p \cdot \frac{S_o}{S_p} \cdot \left( \log \frac{S_o}{S_o - S_p} + \frac{S_o}{S_o - S_p} \cdot \log \frac{S_o}{S_p} + \log \frac{S_p}{S_o - S_p} \right) [\text{MPa}] \quad (2.1)$$

kde:  $\sigma_p$  – přirozený přetvárný odpor

$S_o$  – činná plocha nástroje (průtlačník) [mm<sup>2</sup>]

$S_p$  – činná plocha součásti (průtlačnice) [mm<sup>2</sup>]

- Pěchování podle Siebela:

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left( 1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot D}{h} \right) [\text{MPa}] \quad (2.2)$$

kde:  $f$  – součinitel tření [-]

$D$  – průměr protlačku [mm]

$h$  – výška protlačku [mm]

- Logaritmický stupeň přetvoření u dopředného protlačování:

$$\varphi = \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} [-] \quad (2.3)$$

kde:  $D_0$  – průměr původního průřezu [mm]

$D_1$  – průměr průřezu po tváření [mm]

- Protlačování otvoru:

$$\varphi = \ln \frac{D_1^2}{D_1^2 - d_1^2} [-] \quad (2.4)$$

kde:  $D_1$  – průměr vnějšího průřezu [mm]

$d_1$  – průměr otvoru [mm]

- Stupeň přetvoření:

$$\varepsilon = \frac{D_1^2 - D_0^2}{D_1^2} \cdot 100 [\%] \quad (2.5)$$

- Dopředné protlačování podle ČSN 22 7005:

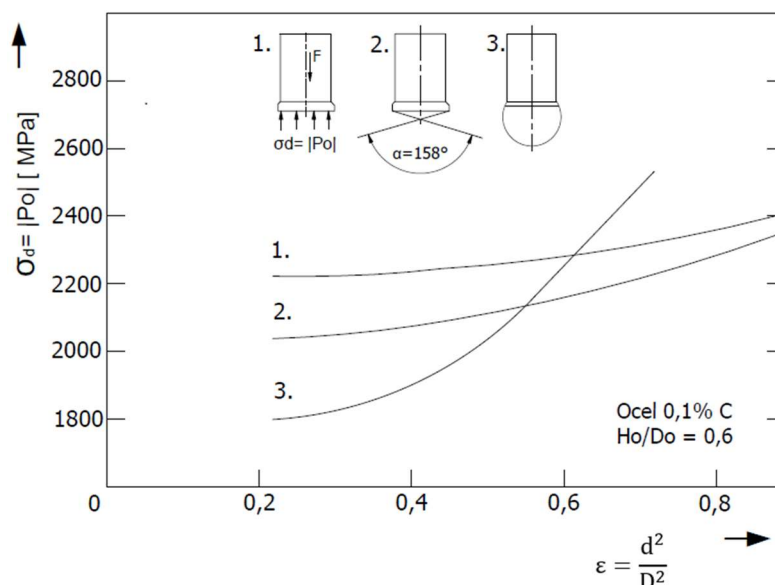
$$\sigma_{ds} = \sigma_p \cdot (\varphi_s + 0,6) \cdot \left( 1,25 + 2 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot L_o}{S_o}} \right) [\text{MPa}] \quad (2.6)$$

kde:  $\varphi_s$  – logaritmická deformace [-] ;  $\varphi_s = \ln \frac{S_o}{S_1}$

$L_o$  – délka tvářeného průměru [mm]

Významný vliv na deformační odpor má také tvar tvářeného polotovaru a následného výrobku, s čímž úzce souvisí pracovní plocha nástrojů. Kupříkladu menší deformační odpor mají čisté kovy a slitiny. Při vysokých teplotách je deformační odpor o mnoho menší než při pokojových teplotách. Při velkém vnějším tření pak enormně narůstá velikost deformačního odporu.

Na velikost deformačního odporu má také vliv výška průtláčníku a tvar čela (obrázek 22) v závislosti na poměrné deformaci protlačku.



Obrázek 22 Vliv tvaru protlačku na deformační odpor [9]

U protlačování a tažení je důležité vhodně vybrat mazivo, které se nanáší na nástroj i na materiál. Úkolem je snížení třecí síly při tvářecí operaci, čímž se ulehčí nástroji, prodlouží se jeho životnost a zaručí se požadovaná přesnost protlačku. Vliv maziva je tím větší, čím je větší poměr styčné plochy nástroje s materiálem ku celkové ploše.

Nároky na použité mazivo se liší podle druhu materiálu (pevnosti). Také záleží na velikosti tažení (hloubky). Používají se následující druhy oleje:

- čisté ropné oleje středně a méně viskózní (grafit, křída),
- rostlinné oleje (řepkový olej),
- živočišné oleje a tuky (lůj, rybí olej),
- olejové emulze,
- tuhá maziva.

## 2.7 Tvářecí síla [1], [12]

Výpočet tvářecí síly je důležitý pro výpočet potřebné protlačovací síly konkrétní operace, která nesmí přesáhnout jmenovitou sílu zvoleného lisu.

Maximální hodnotu lze vypočítat ze vztahu:

$$F = S \cdot \sigma_p \text{ [N]} \quad (2.7)$$

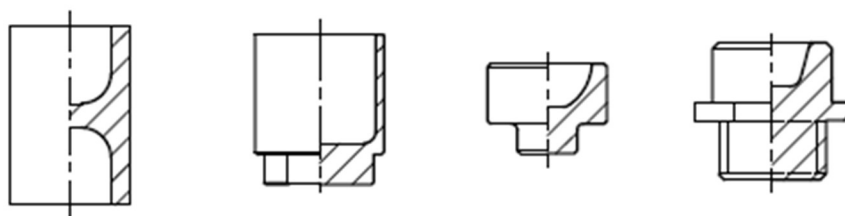
kde:  $S$  – činná plocha protlačku [ $\text{mm}^2$ ]

$\sigma_p$  – deformační přetvárný odpor [MPa]

## 2.8 Technologičnost součástí [1], [17]

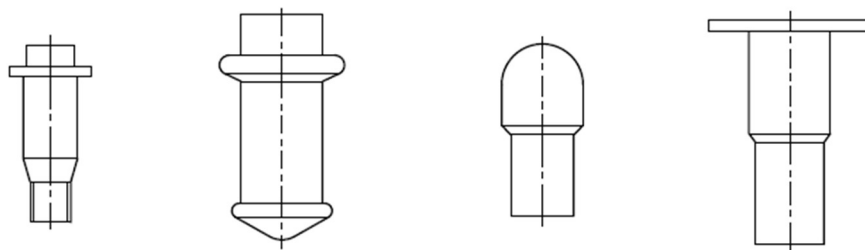
Součástky vyráběné tvářením mohou mít symetrické, nesymetrické, jednoduché nebo složité tvary. Mohou být vyrobeny základními způsoby výroby nebo jejich kombinacemi, které lze rozdělit podle charakteristických znaků na několik skupin:

- a) součásti kalíškového tvaru – způsobem výroby je dopředné a zpětné protlačování, mohou být jednostranné nebo oboustranné a lze vidět na obrázku 23,



Obrázek 23 Součásti kalíškového tvaru [17]

- b) součásti čepového tvaru – jsou vyráběny stranovým a dopředným protlačováním i pěchováním, příklad lze vidět na obrázku 24,



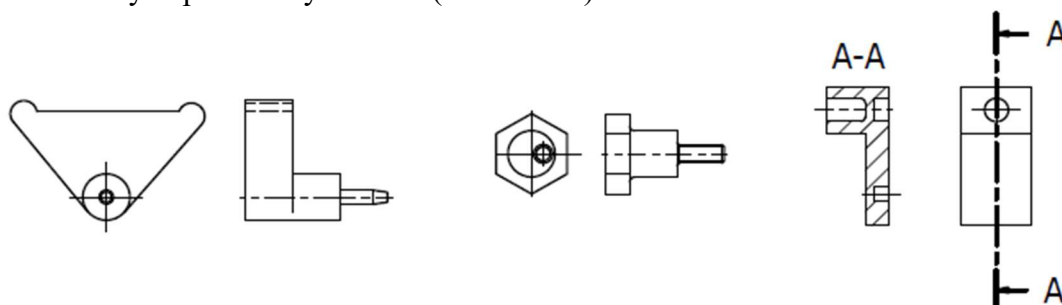
Obrázek 24 Součásti čepového tvaru [17]

- c) nízké rotační součástky s průchozím otvorem – tvar lze zhotovit kombinací základních způsobů objemového tvářením za studena (obrázek 25),



Obrázek 25 Nízké rotační součástky s otvorem [17]

- d) součástky nepravidelných tvarů (obrázek 26).



Obrázek 26 Součástky nepravidelných tvarů [17]

Každá nová součástka, která se vyrábí protlačováním za studena, znamená uskutečnění vývoje, a to speciálně v případech, kdy je tvar složitějšího tvaru nebo je požadavek na určitou tvarovou i rozměrovou přesnost a jakost. Při navrhování nové součástky musí konstruktér dbát na základní zásady:

- nahromadění materiálu – doporučuje se vyhnout se nesymetrickému nahromadění materiálu, přičemž je zvláště nutné se vyhnout nebezpečným změnám materiálu v příčném průřezu nebo u přechodů tlustých stěn k tenkým. Pokud se přesto těmto přechodům nelze vyhnout, je zapotřebí zvolit dostatečně velká zaoblení.
- náhlé přechody – u těchto přechodů je třeba se v co největší míře vyvarovat ostrým rohům a přechodům. Při těchto tvarech také nastává extrémní odpor materiálu k tváření. Rohy a hrany se doporučují zaoblit nebo v krajním případě zkosit, a to dle jmenovitého průměru v mezích 1,5 až 20 mm.
- místní zúžení – u protlačování za studena je nutno se místnímu zúžení vyvarovat, neboť místní zúžení zvyšuje náklady na nástroje, čímž se stává výroba méně výhodná. Možnost jeho uplatnění je v případě, kdy by počet kusů byl tak velký, že by se vyplatilo investovat do drahých nástrojů. V menším počtu kusů se ekonomicky vyplatí více jiný druh výroby, např. obrábění.
- kuželovitost – boční kuželovitost je u některých součástí žádaná (např. u odlitku nebo výkovku). Kužel slouží pro snadnější vyjmutí z formy, zatímco u součásti vyrobené protlačováním boční stěny nemusí být kuželovité. Ve výjimečných situacích lze vyrobit protlačováním i kužel, od určitého úhlu se však nabízí jako vhodnější vyrobit daný kužel jinou technologií, např. obráběním.
- tvar – jelikož nástroje jsou tvarově omezené a lze vyrobit jen určité typy tvarů, musí se respektovat pravidlo, že vnější stěny součástky jsou rovnoběžné se směrem protlačování.
- otvory – u protlačování jsou otvory omezeny průměrem, který je nejmenší, a průměrem, který má největší hloubku. Zde platí pravidlo, že by otvor neměl být menší než 10 mm.
- závity – u protlačování za studena nelze vyrobit závity. Lze však zhotovit potřebné průměry pro vnitřní nebo vnější závit a samotný závit poté zhotovit jinou technologií (obrábění, válcování).

### 3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI [12], [18]

Ocel určená na tváření se považuje za vhodnou v případě, že je tvárná. Tomu odpovídá feriticko-perlitická struktura. Nejvhodnější a nejvýhodnější stav oceli je žíhání na měkko nebo kombinace normalizačního žíhání (dosažení jemného zrna) a žíhání na měkko (dosažení tvárnosti). Snahou je, aby tvářený materiál měl co nejmenší mez kluzu, co nejvyšší tažnost, nízký obsah uhlíku, fosforu, síry a nekovových vměstků.

Neželezné kovy mají dobré tvárné vlastnosti, musí být ale čisté. Hliníkové a měděné polotovary mohou dosáhnout až 90 % poměrného přetvoření. Některé slitiny mají zhoršenou tvárnost a některé mosazi, bronzы nebo slitiny hořčíku je potřeba vyžítat.

Ocel 12 050 je vhodná pro výrobu hřídele těžících strojů, větší ozubená kola, čepy, šrouby, lamely spojek, páky, kolíky, tlakové nádoby, vrtací tyče atd. Tvrdost dané oceli činí max. 225 HB.

Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou zobrazeny v příložených tabulkách (tabulka 5, tabulka 6).

Tabulka 5 Chemické složení oceli 12 050 [18]

Označení ocelí	Složení jednotlivých prvků [%]								
	C	Mn	Si max.	Cr max.	Ni max.	S max.	P max.	Mo max.	Cr+Mo+Ni max.
12050 C45 1.1191	0,420 - 0,500	0,500 - 0,800	0,400	0,400	0,400	0,035	0,035	0,100	0,630

Tabulka 6 Mechanické vlastnosti oceli 12 050 [18]

Stav oceli	Mechanické vlastnosti oceli dle průměru				
	Průměr [mm]	Mez kluzu $R_e$ min. [MPa]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Tažnosti $A$ min. [%]	Kontrakce $Z$ min. [%]
Zušlechťená ocel	$d \leq 16$	490	700 – 850	14	35
	$16 < d \leq 40$	430	650 – 800	16	40
	$40 < d \leq 100$	370	630 – 780	17	45

Ocel pro tváření za studena se musí tepelně upravit pro požadované vlastnosti. Dbát se musí na snížení tvrdosti, zlepšení její struktury a tvárnosti. Příklady tepelných zpracování s rozsahem teplot dané oceli jsou uvedena v tabulce 7.

Tabulka 7 Tepelné zpracování oceli 12 050 [18]

Normalizační žíhání [°C]	Žíhání na měkko [°C]	Popouštění [°C]	Kalení [°C]
840 – 870	680 – 720	530 – 670	840 – 870

### 3.1 Návrh výroby [12], [14], [20]

Vstupní polotovary se do společnosti Metaldyne dopravuje v tyčích o délce 3 m nebo 6 m, proto se musí provést patřičné úkony a materiál připravit na tvářecí operace. Tyče se musí srovnat na rovnačkách, protože mohou být vlivem skladování nebo převážení pokrouceny a ohnuty.

První operací bude tedy rovnání dlouhých tyčí, poté následuje dělení materiálu o  $\varnothing$  55 mm na požadovanou délku (obrázek 27), což se provede na pásové pile. Tento špalík se musí ještě dále opracovat. Jelikož je tvářen materiál ocel 12 050 s vysokým obsahem uhlíku, je zapotřebí jej tepelně upravit. Špalíky se dále musí vyžít na měkko a poté nechat vychladnout na vzduchu. Dále je třeba polotovary očistit od nečistot, okují a dalších nežádoucích povrchových vad, což se provede otryskáním materiálu pomocí jemných částic v tryskacím zařízení.

Následně je špalík přesunut na linku, kde se provádí chemické čištění a odmaštění. Polotovary tedy odmastíme v alkalické lázni a poté ponoříme do kyseliny dusičné (lze použít i jiné kyseliny, např. sírovou, fluorovodíkovou). Toto moření v kyselinách má za úkol odstranit oxidy a zaručit dostatečnou přípravu povrchu pro fosfátování jako je odstranění nečistot, okují a koroze. Teplota lázně je 20 – 65 °C a součást je ponořena po dobu 15 až 30 min. Po každém úkonu se provádí oplach horkou vodou. Následuje fosfátování.

Fosfátování patří mezi velmi jednoduché a levné povrchové úpravy. Povlak usnadňuje tvářecí procesy a prodlužuje životnost tvářecích komponentů, dále pak zvyšuje přichycení maziva, které snižuje tření při tváření. Nakonec je nanесena vrstva maziva, která zaručuje menší tření mezi nástrojem a materiálem.

Nejpoužívanějšími mazivy jsou rostlinné nebo živočišné tuky.

Špalíky jsou dopraveny ke tvářecímu automatu v přepravních bednách ze skladu, kde byly nařezány. Poté se vysypou do příslušného zásobníku, ze kterého se jednotlivě posouvají k první tvářecí operaci. Posouvání polotovarů nám zaručuje kleština.

Samotný proces operací je navržen tak, aby k požadovanému tvaru byl třeba co nejmenší počet operací. Výroba hřídele je tedy navržena na dvě tvářecí operace,

kterými jsou kalibrace uříznutého špalíku, kde se vytvoří potřebný 25° náběh pro lepší zavedení do matrice (obrázek 29), a v druhé operaci v první části se protlačí dřík. V druhé části se dřík dotkne vyhazovače a následuje mírné zpětné protlačení hlavy. Finální hřídele (obrázek 28) padají díky podavači do připravené bedny.



Obrázek 27 Špalík



Obrázek 29  
Ukázka polotovaru  
po 1. tvářecí operaci



Obrázek 28  
Hotový výrobek

### 3.2 Technologické výpočty [19]

Podle zákona zachování objemu materiálu při tváření je spočítán celkový objem součásti  $V_c$ . Podle  $V_c$  se také určí vstupní polotovár. Součást se rozdělila na jednodušší menší části (obrázek 30). Součást je tvořena jednoduchými válci a komolými kužely. Objemy dílčích částí byly sečteny a celkový objem zkontrolován pomocí softwaru Autodesk Inventor.

Objem válce:

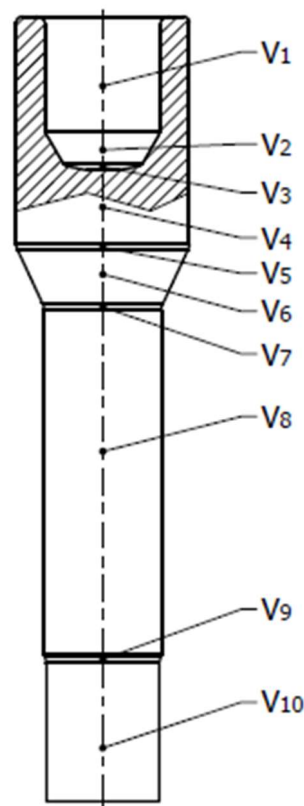
$$V_{\text{Válec}} = \pi \cdot r^2 \cdot h_v \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.1)$$

kde:  $r$  – poloměr [mm],  
 $h_v$  – výška válce [mm]

Objem kužele:

$$V_{\text{Kůžel}} = \frac{\pi \cdot h_k}{3} \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2) \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.2)$$

kde:  $r_1$  – poloměr horní podstavy kužele [mm]  
 $r_2$  – poloměr spodní podstavy kužele [mm]  
 $h_k$  – výška kužele [mm]



Obrázek 30  
Rozdělení součásti

**Výpočet celkového objemu součásti  $V_c$ :**

$$V_1 = \pi \cdot 18,5^2 \cdot 37 = 39\,782,773 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 11}{3} \cdot (18,5^2 + 18,5 \cdot 12,45 + 12,45^2) = 8\,381,091 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 2}{3} \cdot (12,45^2 + 12,45 \cdot 5 + 5^2) = 507,372 \text{ mm}^3$$

$$V_4 = \pi \cdot 28^2 \cdot 75 = 184\,725,648 \text{ mm}^3$$

$$V_5 = \frac{\pi \cdot 2,11}{3} \cdot (28^2 + 28 \cdot 27,53 + 27,53^2) = 5\,110,202 \text{ mm}^3$$

$$V_6 = \frac{\pi \cdot 17,3}{3} \cdot (27,53^2 + 27,53 \cdot 19,47 + 19,47^2) = 30\,308,769 \text{ mm}^3$$

$$V_7 = \frac{\pi \cdot 2,11}{3} \cdot (19,47^2 + 19,47 \cdot 19 + 19^2) = 2\,452,665 \text{ mm}^3$$

$$V_8 = \pi \cdot 19^2 \cdot 113 = 128\,154,989 \text{ mm}^3$$

$$V_9 = \frac{\pi \cdot 2,54}{3} \cdot (19^2 + 19 \cdot 18,25 + 18,25^2) = 2\,768,438 \text{ mm}^3$$

$$V_{10} = \pi \cdot 18,25^2 \cdot 45 = 47\,085,602 \text{ mm}^3$$

$$V_c = V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9 + V_{10} - (V_1 + V_2 + V_3) = 351\,935,077 \text{ mm}^3$$

Celkový objem součásti byl zkontrolován v Inventoru a činí  $347\,316,880\text{ mm}^3$ . Rozdíl mezi výpočty činí 0,64 %. Jedna z příčin nepřesnosti ve výsledku byla způsobena v nezahrnutí rádiusu do výpočtů. V dalších výpočtech lze počítat s výsledkem z Inventoru, který je přesnější.

Hmotnost součásti:

$$m = V_c \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (3.3)$$

$$m = 0,000\,347 \cdot 7850 = 2,72 \text{ kg}$$

kde:  $m$  – hmotnost [kg]  
 $\rho$  – hustota [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

### Výpočet délky polotovaru:

Jako výchozí průměr byl zvolen  $\varnothing 55\text{ mm}$ . Tento průměr je normalizovaný, a proto lze říci, že nebude problém sehnat tento materiál v mnoha skladech. Není tedy možné, aby se zpomalila nebo zastavila výroba vlivem nedostatku materiálu.

Dále lze na základě vzorce pro výpočet objemu součásti odvodit vzorec a spočítat výšku špalíku, který bude použit pro protlačování vycházející z platnosti zákona o zachování objemu.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot h \Rightarrow h_c = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 347\,316,88}{\pi \cdot 55^2} = 146,2 \text{ mm} \doteq 146 \text{ mm}$$

Kruhová tyč o průměru 55 mm se bude tedy připravovat dělením na pásové pile o délce  $146^{+0,5} \text{ mm}$ .

### Posloupnost operací výroby:

Na obrázku 31 lze vidět pracovní postup výroby jednotlivých operací až po hotový výrobek.

0. operace – uříznutí polotovaru z kruhové tyče o  $\varnothing D_0 = 55\text{ mm}$ .

1. operace – zarovnání čel a předpěchování na  $\varnothing D_1$  s předpěchováním konce polotovaru z důvodu snadnějšího zasunutí polotovaru při následující operaci.

2. operace – dopředné protlačení  $\varnothing D_2$  a  $\varnothing D_3$  a zároveň zpětné protlačení otvoru o  $\varnothing d_1$ .

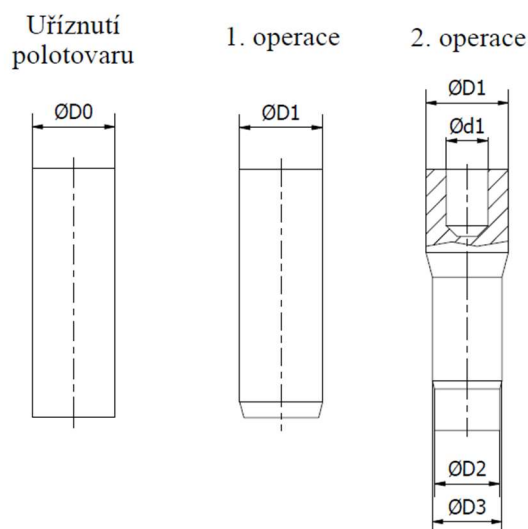
$\varnothing D_0 = \varnothing 55\text{ mm}$

$\varnothing D_1 = \varnothing 56\text{ mm}$

$\varnothing D_2 = \varnothing 36,5\text{ mm}$

$\varnothing D_3 = \varnothing 38\text{ mm}$

$\varnothing d_1 = \varnothing 37\text{ mm}$



Obrázek 31 Schéma možného technologického postupu



### 3.2.1 Výpočet deformací při protlačování:

- Pěchování (kalibrace) špalíku:

$$\varphi_1 = \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{56^2}{55^2} = 0,036$$

$$\varepsilon_1 = \frac{D_1^2 - D_0^2}{D_1^2} \cdot 100 \% = \frac{56^2 - 55^2}{56^2} = 3,54 \%$$

- Dopředné protlačení dříku  $\varnothing D_2$  a  $\varnothing D_3$ :

$$\varphi_2 = \ln \frac{D_2^2}{D_3^2} = \ln \frac{36,5^2}{38^2} = -0,081$$

$$\varepsilon_2 = \frac{D_3^2 - D_2^2}{D_3^2} \cdot 100 \% = \frac{38^2 - 36,5^2}{38^2} = 7,74 \%$$

$$\varphi_3 = \ln \frac{D_3^2}{D_1^2} = \ln \frac{38^2}{56^2} = -0,775$$

$$\varepsilon_3 = \frac{D_1^2 - D_3^2}{D_1^2} \cdot 100 \% = \frac{56^2 - 38^2}{56^2} = 53,95 \%$$

- Zpětné protlačení otvoru  $\varnothing d_1$ :

$$\varphi_4 = \ln \frac{D_1^2}{D_1^2 - d_1^2} = \ln \frac{56^2}{56^2 - 37^2} = 0,574$$

$$\varepsilon_4 = \frac{D_1^2 - (D_1^2 - d_1^2)}{D_1^2} \cdot 100 \% = \frac{56^2 - (56^2 - 37^2)}{56^2} = 43,65 \%$$

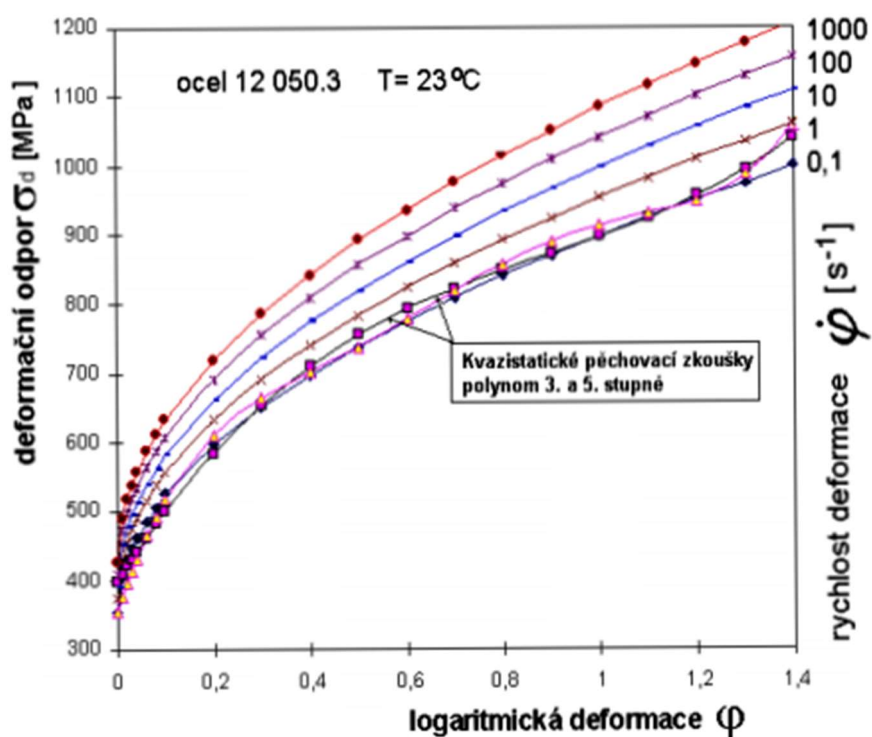
- Celkové přetvoření součástí:

$$\varphi_{\text{hlavy}}: |\varphi_1| + |\varphi_4| = |0,036| + |0,574| = 0,61$$

$$\varphi_{\text{dříku}}: |\varphi_1| + |\varphi_2| + |\varphi_3| = |0,036| + |-0,081| + |-0,775| = 0,892$$

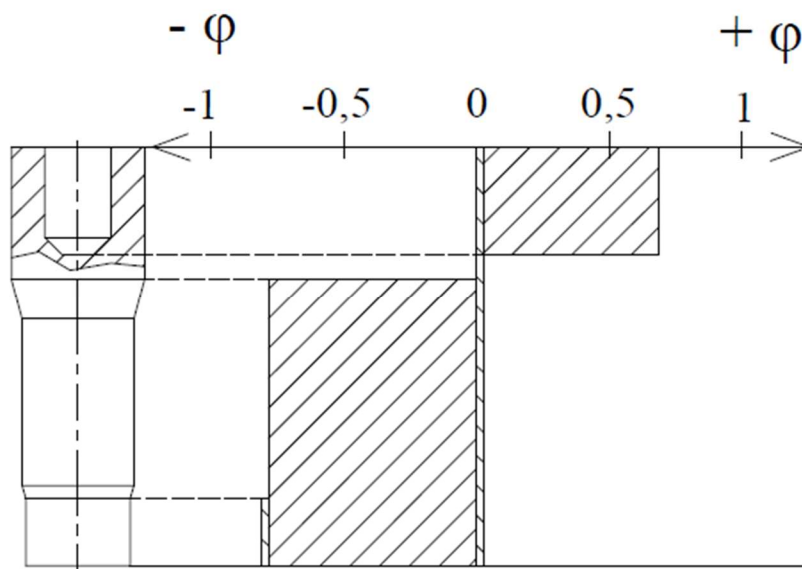
Firma Metaldyne nemá požadavek na stejnoměrné přetvoření hlavy a dříku, tudíž po konzultaci s firmou lze výsledek hodnotit jako vyhovující.

Dle přiloženého grafu (obrázek 32) zpevnění pro materiál 12 050.3, podle vypočítané logaritmické deformace  $\varphi_4 = 0,574$ , vyšla  $\sigma_p = 850$  MPa pro rychlost deformace  $10 \text{ s}^{-1}$ , která byla dosazena do vzorce pro výpočet 2. protlačovací operace.



Obrázek 32 Křivky deformačních odporů (deformačních napětí) oceli 12 050.3 [19]

Na obrázku 33 lze vidět grafické znázornění konkrétního přetvoření u zadané součásti.



Obrázek 33 Grafické vykreslení logaritmického přetvoření součásti

### 3.2.2 Výpočet protlačovací síly pro 1. operaci

- Pracovní plocha nástroje:

$$S_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 56^2}{4} = 2\,461,7 \text{ mm}^2$$

- Deformační přetvárný odpor:

Hodnotu deformačního přetvárného odporu lze najít v příslušných normách nebo vypočítat ze vztahu uvedeného v příloze 2:

$$\begin{aligned}\sigma_p &= 1\,004,43 \cdot \varphi^3 - 2\,283,94 \cdot \varphi^2 + 1\,953,34 \cdot \varphi + 559,85 = \\ &= 0,04686 - 2,95999 + 70,32024 + 559,85 = 627,26 \text{ MPa}\end{aligned}$$

kde:  $\varphi_1$  – logaritmická deformace v 1. op (0,036)

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot D}{h}\right) = 627,26 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{0,05 \cdot 56}{146}\right) = 631,27 \text{ MPa}$$

- Protlačovací síla:

$$F_1 = S_p \cdot \sigma_p = 2\,461,7 \cdot 631,27 = 1\,554 \text{ kN}$$

### 3.2.3 Výpočet protlačovací síly pro 2. operaci

- Výpočet deformačního odporu:

$$\begin{aligned}\sigma_d &= 1,152 \cdot \sigma_p \cdot \frac{S_o}{S_p} \cdot \left(\log \frac{S_o}{S_o - S_p} + \frac{S_o}{S_o - S_p} \cdot \log \frac{S_o}{S_p} + \log \frac{S_p}{S_o - S_p}\right) = \\ 1,152 \cdot 850 \cdot \frac{2\,461,7}{1\,074,7} \cdot \left(\log \frac{2\,461,7}{2\,461,7 - 1\,074,7} + \frac{2\,461,7}{2\,461,7 - 1\,074,7} \cdot \log \frac{2\,461,7}{1\,074,7} + \log \frac{1\,074,7}{2\,461,7 - 1\,074,7}\right) &= \\ = 1\,991,7 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{kde: } S_o - \text{činná plocha nástroje (průtláčnick)} [\text{mm}^2] = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 37^2}{4} = 1\,074,7 \text{ mm}^2$$

$$S_p - \text{činná plocha součásti (průtláčnice)} [\text{mm}^2] = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 56^2}{4} = 2\,461,7 \text{ mm}^2$$

- Protlačovací síla:

$$F_2 = S_o \cdot \sigma_p = 1\,074,7 \cdot 1\,991,7 = 2\,140 \text{ kN}$$

- Výpočet protlačovací síly pro  $\varnothing 38$ :

$$\varphi_s = \ln \frac{S_0}{S_1} = \ln \frac{2\,461,7}{1\,134,7} = 2,17$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \cdot (\varphi_s + 0,6) \cdot \left(1,25 + 2 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot L_0}{S_o}}\right)$$

$$\sigma_{ds} = 890 \cdot (2,17 + 0,6) \cdot \left(1,25 + 2 \cdot 0,05 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot 65,3}{1\,134,1}}\right) = 3\,186 \text{ MPa}$$

- Protlačovací síla:

$$F_3 = S_o \cdot \sigma_{ds} = 1\,134,1 \cdot 3\,186 = 3\,613 \text{ kN}$$

- Výpočet protlačovací síly pro  $\varnothing 36,5$ :

$$\varphi_s = \ln \frac{s_0}{s_1} = \ln \frac{1\,134,7}{1\,046,3} = 1,08$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \cdot (\varphi_s + 0,6) \cdot (1,25 + 2 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot L_o}{S_o}})$$

$$\sigma_{ds} = 450 \cdot (1,08 + 0,6) \cdot (1,25 + 2 \cdot 0,05 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot 44}{1\,046,3}}) = 972 \text{ MPa}$$

Tvářené délky  $L_o$  u  $\varnothing 38$  a  $\varnothing 36,5$  byly vypočítány na základně platnosti zákona o zachování objemu.

- Protlačovací síla:

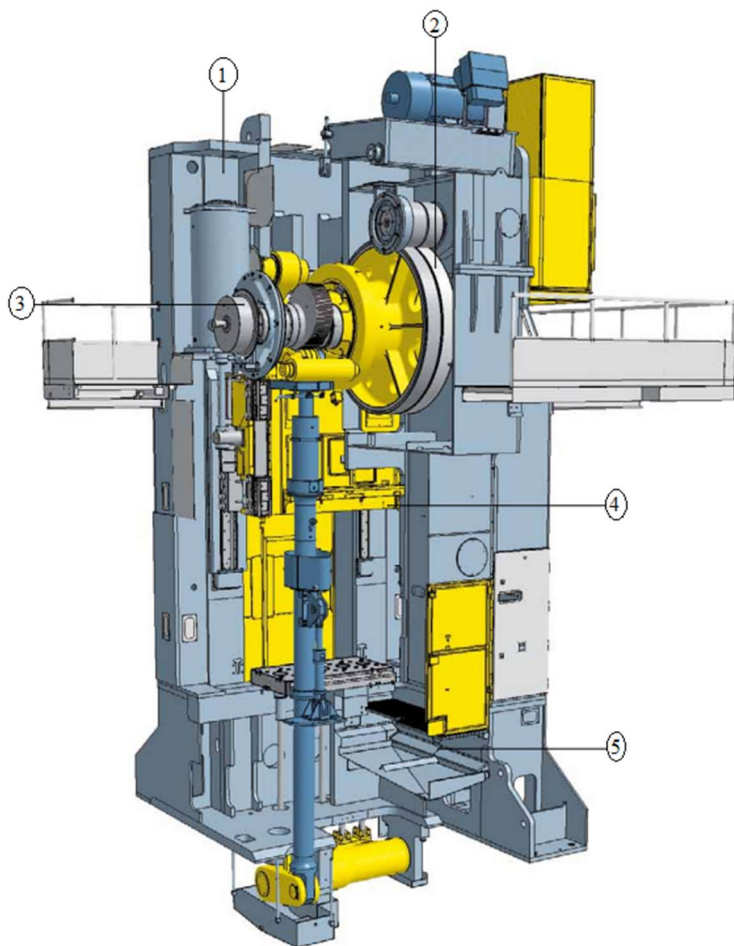
$$F_4 = S_o \cdot \sigma_{ds} = 1\,046,3 \cdot 972 = 1\,017 \text{ kN}$$

- Celková protlačovací síla:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 1\,554 + 2\,140 + 3\,613 + 1\,017 = 8\,324 \text{ kN}$$

### 3.3 Volba tvářecího stroje [21]

Minimální potřebná protlačovací síla ke zhotovení protlačku je 8 324 kN. Na základě této síly volím postupový automat značky Schuler, kterým firma Metaldyne disponuje od roku 2015. Stroj má jmenovitou sílu 2 000 t, tudíž je vybaven značnou rezervou. Technická data viz příloha 1.



- 1) tuhý lisovací rám
- 2) ozubená kola ve dvojité šroubovitě konstrukci pro snížení hluku
- 3) motorizované nastavení vačky vyhazovače lože umožňuje jednoduché a rychlé přepnutí
- 4) robustní saně s minimální tolerancí umožňují přesné tváření
- 5) sběrné pánve, které umožňují sběr a opětovné použití nadměrného maziva

Obrázek 34 Postupový automatický lis Schuler [21]

### 3.4 Kontrola nástrojů [9]

Tvar a velikost průtlačníku jsou velmi důležité. Jedná se o dvě z vlastností, které ovlivňují výslednou sílu potřebnou k protlačení polotovaru. Průtlačník je hlavně namáhán na ohyb/vzpěr, avšak podle schématu na obrázku 16, kdy je nutno dodržet pravidlo, aby dílek splňoval podmínku  $h \leq 3d$ . V našem případě ( $73 \text{ mm} \leq 3 \cdot 56 \text{ mm}$ ). Podmínka pro průtlačník v 1. operaci je tedy splněna.

Průtlačnice ve 2. operaci je namáhána deformačním odporem materiálu o velikosti 1 991 MPa a podle tabulky 3 je nutné zvolit dvě objímky.

## 4 ZÁVĚRY

Náplní této bakalářské práce bylo seznámení se s objemovým tvářením za studena, které se váže ke zvolené součásti, doplněné o literární rešerši k dané technologii. Přestože se běžně užívá jiný druh oceli, byla v tomto případě pro výrobu zvolena ušlechtilá ocel dle ČSN 12 050 (1.1191) používaná například pro hřídele strojů, větší ozubená kola, čepy, šrouby, lamely spojek, páky, kolíky, tlakové nádoby nebo vrtací tyče.

V první kapitole práce byl představen rozbor zadané součásti a také společnost Metaldyne, ve které se součásti obdobných tvarů aktuálně vyrábí. Následně byly popsány vhodné technologie pro výrobu součásti. Z proveditelných kombinací výrobních technologií byla právě technologie tvářením za studena určena jako nejvhodnější.

Při návrhu výroby byla popsána úprava materiálu před tvářením v případě, že materiál obsahuje nečistoty nebo je vlivem přepravy například ohnut, a dále byl popsán možný postup na lince povrchových úprav. Nakonec byl navrhnut samotný tvářecí proces, jenž byl rozdělen na dvě tvářecí operace. V první operaci se zkalibruje uříznutý špalík, který je dopraven z řezárny. Ve druhé operaci dojde prostřednictvím dopředného protlačení k redukci dříku a částečně zpětným protlačením k vytvoření otvoru.

Pro návrh výroby byly provedeny technologické výpočty. Dále byl stanoven objem a hmotnost protlačku, což bylo ověřeno pomocí softwaru Autodesk Inventor. Za předpokladu co nejrovnoměrnějšího přetvoření celé součásti byla určena hodnota vstupního polotovaru o  $\varnothing$  55 mm a délce 146 mm. Na závěr kapitoly byla spočtena deformace při tvářením, určen přibližný deformační odpor a vypočtena protlačovací síla pro 1. a 2. operaci, která dohromady činí 8 324 kN.

Hřídel bude vyráběna na postupovém automatu Schuler o výšce 7 m a jmenovité síle 2 000 t, jenž disponuje nastavitelným počtem zdvihu 16 – 36 zdvihů za minutu v počtu 100 000 ks/rok. Následné možné obráběcí operace si zákazník provede na svém pracovišti.

## Seznam zdrojů [23]

1. BABOR, Karel, Augustin CIVILINEK a Jan FIALA. *Objemové tváření ocelí*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1967, 332 s. Typové číslo L13-B3-IV-31/22092-XI.
2. *SFS intec Global: Příklad vyráběných součástí tvářením za studena* [online]. Turnov, 2020 [cit. 2021-2-22]. Dostupné z: [https://www.sfsintec.biz/mo/cz/cs/web/technologies\\_\\_\\_products/production\\_technologies/cold\\_forming/cold\\_forming\\_1.html](https://www.sfsintec.biz/mo/cz/cs/web/technologies___products/production_technologies/cold_forming/cold_forming_1.html)
3. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ: Katedra strojírenské technologie* [online]. Technická univerzita Liberec, 2018 [cit. 2021-2-22]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/>
4. American Axle & Manufacturing. *AAM* [online]. Detroit [cit. 2021-2-22]. Dostupné z: <https://www.demandaam.com/#!/United%20States&Zip%20Code&25&>
5. *Schmiedetechnik plettenberg: Precision components* [online]. Plettenberg, 2021 [cit. 2021-2-22]. Dostupné z: <https://www.stplettenberg.de/>
6. *AAM Metal Forming* [online]. Oslavany, 2021 [cit. 2021-2-22]. Dostupné z: <https://www.metaldyne.cz/>
7. *Walter: soustružení* [online]. Tübingen, 2021 [cit. 2021-2-22]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/product-areas/pages/turning.aspx>
8. *Venarca* [online]. Marbach, 2020 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.venarca.com/porsche-pdk-dual-clutch-transmission-porsche-doppelkupplung>
9. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
10. *Šmeral: tvářecí stroje* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-2-25]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/home/tvareci-stroje>
11. *ZV-nástroje s.r.o.* [online]. Vsetín: ZV-nástroje, 2021 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://www.zv-nastroje.cz/tvareci-nastroje/>
12. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-802-1447-479.
13. KOČMAN, Karel. *Aktuální příručka pro technický úsek: základní dílo – stav únor 1999 - včetně 8 aktualizací*. Praha: Verlag Dashöfer, 1999. ISBN 80-902247-2-5
14. DVOŘÁK, Milan a kol. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
15. *Allbiz* [online]. 2021 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://cz.all.biz/ingoty-g59368>

16. *Kovian s.r.o* [online]. Gajary, 2021 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.kovian.cz/cz/Hutni-material-1/Plech/Plech-pozinkovany-ocelovy-2500-x-1250-x-1-2-mm-stredni-format-cena-za-1-ks.html>
17. FELDMANN, Heinz D. a Vladimír HAŠEK. *Protlačování oceli: určeno pro technology a konstruktéry*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962, 200 s. ISBN Typové číslo L 13-B3-IV-31/2663.
18. *JKZ Bučovice: Konstrukční oceli* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrukcni-oceli/csn-12-050-11191-c45>
19. Uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení: Ocel 12 050. In: [Http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/) [online]. fakulta strojního inženýrství [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/databaze/ocel\\_12050.3.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/databaze/ocel_12050.3.pdf)
20. *Tribotechnika* [online]. Žilina: Techpark, 2021 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/klasifikace-fosfatovych-povlaku.html>
21. *Schuler group* [online]. Göppingen, 2021 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.schulergroup.com/>
22. BENEŠ, Milan a kol. *Křivky přetvárných odporů ocelí: Poradenská příručka č.33*. Praha, 1982, 362 s. Typové číslo 735 212 3207.
23. Citace PRO [online]. Ústřední knihovna VUT v Brně, 2020 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>



## Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Jednotky	Význam
A	[%]	Tažnost
D,d	[mm]	Průměr
F	[N]	Celková protlačovací síla
F <sub>1</sub>	[N]	Protlačovací síla v 1.operaci
F <sub>2</sub>	[N]	Protlačovací síla v 2.operaci
F <sub>3</sub>	[N]	Protlačovací síla v 2.operaci ø D <sub>3</sub>
F <sub>4</sub>	[N]	Protlačovací síla v 2.operaci ø D <sub>2</sub>
h <sub>k</sub>	[mm]	Výška kužele
h <sub>v</sub>	[mm]	Výška válce
L <sub>o</sub>	[mm]	Délka tvářeného průměru
m	[kg]	Hmotnost
r	[mm]	Poloměr
r <sub>1</sub>	[mm]	Poloměr horní podstavy kužele
r <sub>2</sub>	[mm]	Poloměr spodní podstavy kužele
R <sub>e</sub>	[MPa]	Mez kluzu
R <sub>m</sub>	[MPa]	Mez pevnosti
S <sub>o</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	Činná plochá nástroje
S <sub>p</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	Činná plocha součásti
V	[m <sup>3</sup> ]	Objem
V <sub>c</sub>	[kg·m <sup>-3</sup> ]	Celkový objem
Z	[%]	Kontrakce
ε <sub>1</sub>	[%]	Stupeň přetvoření přechování
ε <sub>2</sub>	[%]	Stupeň přetvoření ø D <sub>2</sub>
ε <sub>3</sub>	[%]	Stupeň přetvoření ø D <sub>3</sub>
ε <sub>4</sub>	[%]	Stupeň přetvoření ø d <sub>1</sub>
ρ	[kg·m <sup>-3</sup> ]	Hustota
σ <sub>d</sub>	[MPa]	Deformační odpor
σ <sub>p</sub>	[MPa]	Přirozený přetvárný odpor
φ <sub>1</sub>	[-]	Logaritmická deformace přechování
φ <sub>2</sub>	[-]	Logaritmická deformace ø D <sub>2</sub>
φ <sub>3</sub>	[-]	Logaritmická deformace ø D <sub>3</sub>
φ <sub>4</sub>	[-]	Logaritmická deformace ø d <sub>1</sub>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Příklad vyráběných součástí objemovým tvářením [2], [4], [5] .....	9
Obrázek 2 Ukázka součásti v převodové skříni [8].....	10
Obrázek 3 Vyráběná součást .....	10
Obrázek 4 Základní rozměry součásti .....	10
Obrázek 5 Soustružení [7].....	11
Obrázek 6 Stroj pro PKV ULS 70 [10] .....	11
Obrázek 7 Forma pro víceoperační tvářením [11] .....	12
Obrázek 8 Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [3] .....	13
Obrázek 9 Zpětné protlačování [1].....	14
Obrázek 10 Dopředné protlačování: [1].....	14
Obrázek 11 Sdružené protlačování: [1].....	15
Obrázek 12 Hydrostatické protlačování: [1] .....	15
Obrázek 13 Stranové protlačování [1] .....	16
Obrázek 14 Pěchování [1] .....	16
Obrázek 15 Druhy pěchování [9] .....	17
Obrázek 16 Nástroj pro protlačování plného materiálu [9].....	18
Obrázek 17 Doporučený tvar a rozměry průtláčnicku pro dopředné protlačování [9] .....	18
Obrázek 18 Průtláčnice pro dopředné plné protlačování [9].....	19
Obrázek 19 Doporučený tvar s rozměry průtláčnicku pro zpětné protlačování [9] .....	20
Obrázek 20 Typický tvar pro průtláčnici a její pouzdření objímkami [9].....	21
Obrázek 21 Ingot [15] .....	22
Obrázek 22 Vliv tvaru protlačku na deformační odpor [9] .....	26
Obrázek 23 Součásti kalíškového tvaru [17].....	27
Obrázek 24 Součásti čepového tvaru [17].....	27
Obrázek 25 Nízké rotační součástky s otvorem [17] .....	27
Obrázek 26 Součástky nepravidelných tvarů [17] .....	27
Obrázek 27 Špalík .....	30
Obrázek 28 Hotový výrobek .....	30
Obrázek 29 Ukázka polotovaru po 1. tvářecí operaci .....	30
Obrázek 30 Rozdělení součásti .....	31
Obrázek 31 Schéma možného technologického postupu .....	32
Obrázek 32 Křivky deformačních odporů (deformačních napětí) oceli 12 050.3 [19].....	34
Obrázek 33 Grafické vykreslení logaritmického přetvoření součásti .....	34
Obrázek 34 Postupový automatický lis Schuler [21] .....	37

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Doporučené rozměry průtlačnic podle teplot [9] .....	19
Tabulka 2 Doporučené geometrické parametry průtlačníku [9] .....	20
Tabulka 3 Geometrické parametry průtlačnic [9] .....	21
Tabulka 4 Základní druhy oceli používané pro nástroje [1] .....	23
Tabulka 5 Chemické složení oceli 12 050 [18].....	29
Tabulka 6 Mechanické vlastnosti oceli 12 050 [18] .....	29
Tabulka 7 Tepelné zpracování oceli 12 050 [18].....	29

## Seznam výkresů

Výkres 1 Hřídel	2021_175791_01
Výkres 2 Průtlačník 1. operace	2021_175791_02
Výkres 3 Průtlačnice 1. operace	2021_175791_03

## Seznam příloh

Příloha 1 Postupový tvářecí automat Schuler [21]
Příloha 2 Rovnice přetvárného odporu pro ocel 12 050 [22]
Příloha 3 Návrh sestavy nástrojů 1. a 2. operace

## Technická data

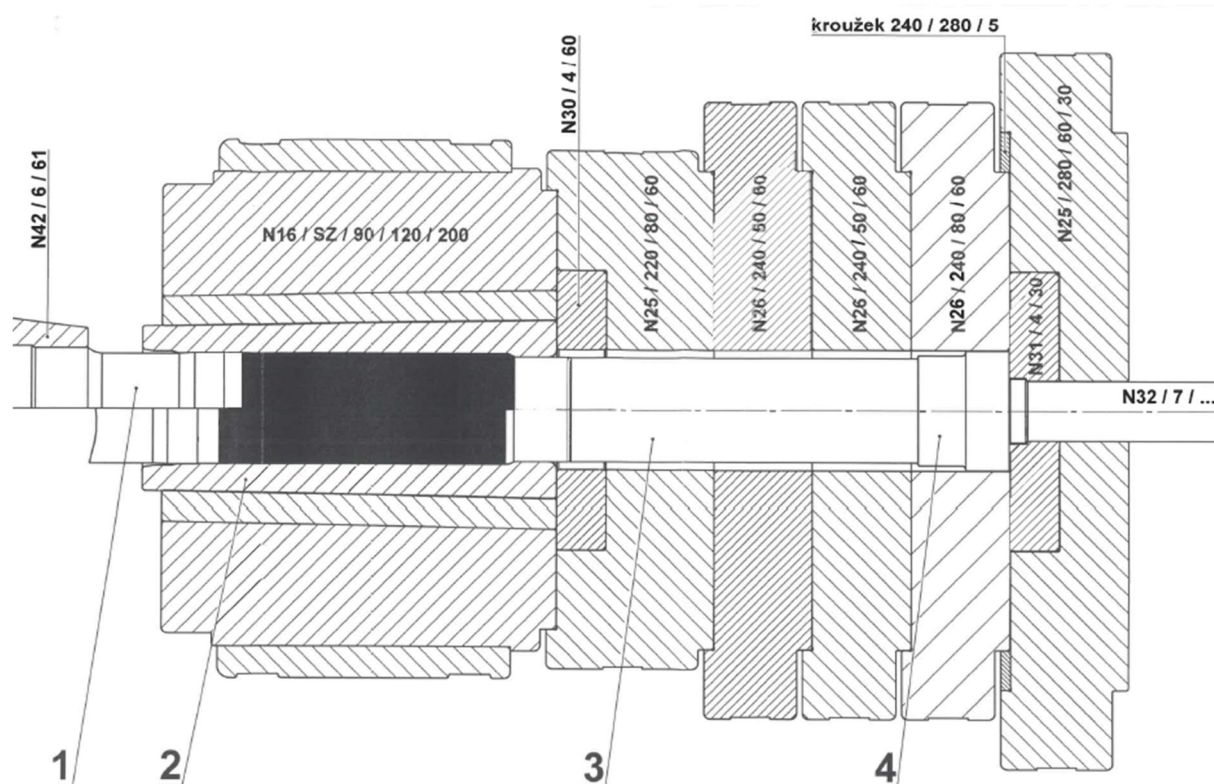
Výška stroje	7 m
Jmenovitá síla	2000 t
Počet zdvihů	16 - 36 / min
Zdvih beranu	630 mm
Plocha stolu	1800 x 1000 mm
Výkon pohonu	450 kW



Ocel 12 050 normalizačně žíháno		teplota 20 °C		
Aprox. křivka	Rovnice *)	$I_{yx}$	$G^2$	$d^2$
Polýtropa	$\tilde{\sigma}_f = 834,37 \varphi^{0,3920} + 425,43 \text{ [MPa]}$	0,99174	425,514	14041,966
Polynom 3. stupně	$\tilde{\sigma}_f = 1004,43 \varphi^3 - 2283,94 \varphi^2 + 1953,34 \varphi + 559,85 \text{ [MPa]}$	0,98953	1399,397	44780,712
Polynom 5. stupně	$\tilde{\sigma}_f = 4853,39 \varphi^5 - 16722,17 \varphi^4 + 21513,27 \varphi^3 - 12823,93 \varphi^2 + 3949,30 \varphi + 485,02 \text{ [MPa]}$	0,99609	559,312	16779,373
Racionálně lomená funkce	$F = 738,55 \varphi^5 - 2493,34 \varphi^4 + 3308,25 \varphi^3 - 1885,90 \varphi^2 + 775,42 \varphi + 83,52 \text{ [kN]}$	0,99973	23,358	700,726
$\tilde{\sigma}_f = \frac{F}{D^2} \frac{4000}{\rho} \text{ [MPa]}$	$D = 1,68 \varphi^3 - 0,24 \varphi^2 + 6,88 \varphi + 14,80 \text{ [mm]}$	0,99974	0,008	0,252
$a = 0,60 \varphi^{1,3920} + 0,43 \varphi \text{ [Jmm}^{-3}\text{]}$		$\dot{\varphi}_{str.} = 0,0088 \text{ [s}^{-1}\text{]}$		

\*) Pozn.: Rovnice platí pro  $\varphi$  v intervalu 0 až 1,19

1. protlačovací operace



2. protlačovací operace

